

Bild und Paradigma

Wissenschaftliche Verbildlichung als Paradigmatisierung

von

Babu Thaliath

Vorwort

Die vorliegende Abhandlung entstand im Rahmen meiner aktuellen Post-Doktoranden Forschung im Bereich der frühneuzeitlichen *Mechanischen Philosophie* am Institut für Philosophie der Humboldt Universität zu Berlin und am Department of History and Philosophy of Science der University of Cambridge. Sie ist die unmittelbare Ergänzung zu einigen vorangegangenen postdoktoralen Forschungsarbeiten, in denen ich die philosophischen Grundlagen der Methode der *strukturellen Intuition* erarbeitete und ihre Anwendungsmöglichkeiten in den neuzeitlichen Wissenschaften, insbesondere in der Klassischen Mechanik und Optik, erörterte. In der vor kurzem erschienenen Abhandlung *Nature of Gravitation*¹ versuchte ich zu demonstrieren, wie bestimmte bzw. von Wissenschaftlern der Mechanik bevorzugte strukturelle Intuitionen manche axiomatische Vorstellungen, wie die Vorstellung von der Universalgravitation, historisch-paradigmatisch etablieren. Ein treffendes Beispiel dafür wäre die Newtonsche Erklärung des Gezeitenphänomens, die seit der Frühneuzeit tradiert wurde und sich bis heute als durchaus aktuell erwies. Der Teil der Abhandlung (*Nature of Gravitation*), der das Gezeitenphänomen behandelt, ist in der folgenden Untersuchung fast unverändert übernommen. Jedoch ist der Akzent nun von strukturellen auf *bildliche* Intuitionen verschoben – im Hinblick auf die Tatsache, dass die axiomatisch-strukturellen Intuitionen in den klassischen mathematischen Wissenschaften notwendigerweise in bildlicher Darstellungsweise entstanden. Demgemäß handelt es sich in dieser Abhandlung um eine Darlegung, wie die Bildlichkeit manche elementare strukturelle Intuitionen der mechanischen Phänomene – wie der Gravitation und des durch die Gravitation *verursachten* Gezeitenphänomens –, die die Wissenschaftler zu priorisieren bzw. als Prämisse zu bevorzugen neigten, die Axiome dieser Phänomene paradigmatisierte und deren Nachhaltigkeit historisch gewährleistete.

Der Anregung zu dieser Untersuchung kam durch einen besonderen Anlass zustande, nämlich die Jubiläumstagung "Das Bild und die Bilder" zu Ehren von Prof. Dr. Gottfried Boehm, einem der Betreuer meiner Promotion zwischen 1998 und 2003 an dem Philosophischen Seminar der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und dem Kunsthistorischen Seminar der Universität Basel. Diese Tagung wurde am 5. und 6. Oktober 2012 in Basel veranstaltet. Die Teilnahme an dieser Tagung hat mich veranlasst, das Bildphänomen, mit dem ich durch ein

¹ *Nature of Gravitation. The Structural Intuition of Gravitation in the Framework of Early Modern Mechanical Philosophy*. Philosophy Study, September 2012, Vol. 2, No. 9 (595-618).
URL: http://www.academia.edu/2104755/Nature_of_Gravitation._The_Structural_Intuition_of_Gravitation_in_the_Framework_of_Early_Modern_Mechanical_Philosophy

langjähriges Postdoktoranden Kolloquium bei Prof. Boehm an der Universität Basel – mit dem Rahmenthema *Bild und Bildlichkeit* – eng vertraut war, als Forschungsgegenstand erneut zu behandeln und es in die aktuelle Forschung zu integrieren. Herrn Prof. Boehm danke ich herzlich für die damalige Einführung in die Bildwissenschaft und für den späteren Anlass zur Wiederbelebung dieses Forschungsinteresses.

Außerdem bin ich meinem jetzigen Betreuer, Herrn Prof. Dr. Dominik Perler, Inhaber des Lehrstuhls für theoretische Philosophie an der Humboldt Universität zu Berlin, für die beständige Förderung meiner Studien sehr dankbar. Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. John Forrester und Herrn Prof. Dr. Hasok Chang für die freundliche Unterstützung meiner Forschung in Cambridge. Frau Daniela Scheible danke ich für ihr aktives Interesse an den Fortschritten meiner Arbeit und für die Korrektur dieser Abhandlung. Sehr zu Dank verpflichtet bin ich auch der Gerda Henkel Stiftung Düsseldorf, die meine Post-Doktoranden Forschung in Cambridge und in Berlin mit einem Forschungsstipendium unterstützte.

Berlin, im April 2013

Babu Thaliath

Bildliche Intuition und Axiomatisierung

Bildliche Intuition, die gewöhnlich einer wissenschaftlichen Deduktion vorausgeht, sollte im Prinzip in einer unmittelbaren Resonanz mit dem Phänomenon zustande kommen. Sie ist eine *ursprüngliche Imagination*, in der das Bildliche weder aus dem gegebenen Phänomenon bloß abgeleitet, noch darauf aufoktroiert wird, sondern erst durch eine Einstimmung zwischen intuitiven und phänomenalen Strukturen entsteht. Dass derartige Intuitionen zur wissenschaftlichen Axiomatisierung führen, verdeutlicht kein Verfahren der Kausaldeduktion, sondern eine Mitgestaltung bzw. ein Denken mit dem Phänomenon oder ein *Hineindenken* in es. Denn die Axiome sollten dem Wesen nach epistemologisch finale bzw. nicht reduzierbare Prinzipien bilden und demnach keine Überbleibsel jenes residualen Kausalfaktums (das noch zu entdecken ist) in sich einschließen. Die Apodiktizität der axiomatischen Intuitionen *phänomenaler* Strukturen scheint kaum in der Apriorität der axiomatischen Vorstellung beschränkt zu sein, sondern über sie, bzw. über den Rahmen des Transzendentalismus hinaus, *primär* durch die Gegebenheit der Phänomene und deren Einmaligkeit selbst bestimmt oder sogar vorausgesetzt zu werden.

Bekanntlich verfügten die frühneuzeitlichen mathematischen Wissenschaften wie Mechanik und Optik über die Methode der Intuition, um die geometrisch-mathematische Ordnung und Gesetzmäßigkeit der mechanisch- und optisch-phänomenalen Strukturen zu *entdecken* und dabei das Axiomatische an ihrer Phänomenalität festzustellen. Die Strukturen der mechanischen und optischen Phänomene lassen sich prinzipiell im visuellen Modus – im unmittelbaren Sehen oder in der *produktiven Einbildung* – wahrnehmen; d. h. es ist das Faktum des Sehens, das den intuitiven Erkenntnissen der phänomenalen Strukturen zugrunde liegt. Während die mechanischen Bewegungsstrukturen unmittelbar visuell wahrgenommen werden, lassen sich die, *an sich unsichtbaren*, unmittelbaren Kräfte und Kraftstrukturen, die auf die statischen und die dynamischen Phänomene wirken, in der produktiven Einbildung erkennen. Die bildliche Intuition ist hier die Basis jenes epistemologischen Prozesses, der zugleich eine entdeckende und axiomatisierende Funktion hat bzw. die sichtbaren und unmittelbaren Strukturen in mechanischen und optischen Phänomene identifiziert und deren axiomatische Formhaftigkeit und Gesetzmäßigkeit feststellt.

Zum großen Teil erweisen sich die Axiome der Klassischen Mechanik und Optik als verbale Beschreibung der bildlichen Darstellungen phänomenaler Strukturen; sie sind grundsätzlich *strukturelle Intuitionen* mechanischer und optischer Phänomene, die unmittelbar visuell wahrgenommen und – oder sich zusätzlich – eingeblendet werden. Eins der wichtigsten und

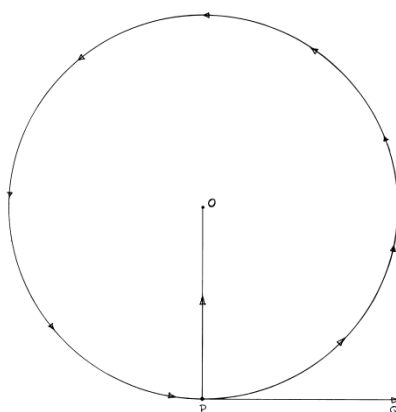
vorrangigsten Axiome der Klassischen Mechanik ist das Kartesisch-Newtonsche Trägheitsprinzip, das sich auf den Trägheitsruhezustand und auf den Trägheitsbewegungszustand bezieht. Der Widerstand eines ruhenden Körpers gegen jene Kraft, die ihn zur Bewegung zu bringen versucht, sowie das Verharren eines sich *gleichförmig* und *linear* bewegenden Körpers in seinem Trägheitsbewegungszustand sind Erkenntnisse, die aus der unmittelbaren visuellen Wahrnehmung gewonnen werden könnten. Aber die epistemologische *Überzeugung*, dass der Körper unter idealen Umständen bzw. unter der vollkommenen Abwesenheit äußerer Kräfte wie Gravitation, Luftresistenz etc. *unendlich* in seinem ursprünglichen – statischen oder dynamischen – Trägheitszustand verharren wird, benötigt zusätzlich zu der bloßen Gegebenheit dieses mechanischen Phänomens in der visuellen Wahrnehmung die produktive Einbildung, die notwendigerweise eine bildliche Intuition ist. Die epistemologische Gesetzmäßigkeit dieses Phänomens und deren Finalität bzw. Unreduzierbarkeit, die ihren axiomatischen Status ausmacht, werden durch die bildlichen Intuitionen bestimmt und gewährleistet. Das Axiomatische an dem oben erörterten Trägheitsbewegungszustand basiert auf zwei Faktoren dieses mechanischen Phänomens, nämlich auf der Linearität und auf der Gleichförmigkeit der Bewegung. Während die Linearität eine rein geometrische und als solche räumliche Qualität ist, bildet die Gleichförmigkeit der Bewegung eine mechanische bzw. dynamische Qualität in räumlicher und zeitlicher Dimension. Beide dieser Wesenszüge des Trägheitsbewegungszustands können nur *visuell* wahrgenommen und erkannt werden. Diese und ähnliche *axiomatische* Erkenntnisse in der Wissenschaft der Klassischen Mechanik und der geometrischen Optik sind demnach ursprünglich visuelle Erkenntnisse. Allerdings bezieht sich das Axiomatische an der Erkenntnis des Trägheitsbewegungszustands auf die Unreduzierbarkeit und Finalität seiner Wesenszüge, nämlich der geometrischen Linearität und der mechanischen Gleichförmigkeit der Bewegung, die *primär* phänomenal zustande kommen und daher dem Subjekt, das unmittelbar beobachtet und intuitiv erkennt, eher *objektiv gegeben* werden. Demnach basiert die intuitive Axiomatisierung des Trägheitsbewegungszustands letztendlich auf einer objektiven bzw. phänomenalen Unreduzierbarkeit und Finalität der geometrischen und geometrisch-dynamischen Strukturen der Trägheitsbewegung.

Gegenüber der Sichtbarkeit der dynamischen Bewegungsstrukturen bleiben uns die den statischen Phänomenen immanenten Kraftstrukturen von vornherein unsichtbar; sie lassen sich nur intuitiv – in einer produktiven Einbildung – wahrnehmen. Die optischen und dioptrischen Phänomene, wie Reflektion und Refraktion, können wir zwar unmittelbar visuell *erfahren*, aber die geometrischen Lichtstrukturen, die ihnen zugrunde liegen, bedingen die

visuellen Intuitionen. Denn *an sich* ist das Lichtphänomen gegenüber den belichteten Objekten unsichtbar; die Linearität der Lichtstrahlen (abgesehen davon, dass sie prinzipiell eine geometrische Abstraktion ist) und alle geometrischen Strukturen, die die Lichtstrahlen bei dioptrischen Phänomenen bilden, werden an den belichteten Gegenständen erkannt. Ein analoges Phänomen ist die Gravitation, die neben dem Trägheitsphänomen einen wichtigen Gegenstand der himmelsmechanischen Untersuchung bildet. Die irdische Gravitation und ihre Struktur sind *an sich* unsichtbar. Um die Struktur der irdischen Gravitation zu erkennen, müssen wir zunächst die Linearität und Vertikalität der Gravitationskraft aus wenigen sichtbaren statischen und dynamischen Phänomenen, wie der sichtbaren Vertikalität mancher Bäume und aller architektonischen Bauten oder, klarer, dem vertikalen freien Fall von Objekten hin zur Erdoberfläche, intuitiv ableiten und diese Intuition mit der *Vorkenntnis* der Sphärizität der Erde ebenso *intuitiv synthetisieren*. Daraus entsteht die axiomatische Erkenntnis der Struktur der irdischen Gravitation und der Einzelgravitationen der Himmelskörper im Allgemeinen. Sowohl die oben beschriebenen primären mechanischen Intuitionen, als auch deren Synthetisierung zu zusammengesetzten axiomatischen Erkenntnissen, ereignen sich von vornherein als bildliche Intuitionen und als bildlich-intuitive Operationen. Diese und ähnliche Intuitionen von mechanischen und optischen Strukturen verdanken der Wissenschaft der Geometrie ihren unabdingbar *bildlichen* Zug. Ebenso setzt die Geometrie oder, genauer, die Geometrisierung, die das Grundprinzip der Axiomatisierung mechanischer und optischer Intuitionen im Rahmen der frühneuzeitlichen *Mechanischen Philosophie* gewesen ist, die *Bildlichkeit* aller primären und sekundären Intuitionen der mechanischen und optischen Phänomene voraus. Denn die Geometrie ist im Prinzip eine Bildwissenschaft; die axiomatisch-geometrischen Erkenntnisse sind demnach grundsätzlich visuelle Erkenntnisse. Die Geometrisierung, die der ursprünglichen Axiomatisierung der mechanischen und optischen Intuitionen als Basis diente, baute ausschließlich auf bildlichen Intuitionen und bildlich-intuitiven Operationen der Synthetisierung auf.

Die bildlichen Intuitionen der Kraft- und Bewegungsstrukturen in der klassischen Himmelsmechanik, in der sie in geometrischen Grundformen und -prinzipien gedacht bzw. intuitiv visualisiert werden, führen zu ihrer Axiomatisierung. Die Kraft- und Bewegungsstrukturen in den Wissenschaften der Mechanik und Optik sind grundsätzlich freiräumliche Strukturen und lassen sich als solche vollkommen geometrisieren; sie sind demnach der geometrisch-mathematischen Gesetzmäßigkeit unterworfen. Die Geometrisierung der mechanischen und optischen Phänomene hat die *ursprüngliche* Funktion, ihnen, bzw. ihren freiräumlichen Strukturen, eine förmliche Finalität zu verleihen

und sie dadurch zu axiomatisieren. Die vektorielle Darstellung der Kräfte im Allgemeinen bildet eine der primärsten geometrischen Axiomatisierungen eines mechanischen Basisphänomens, indem die Finalität bzw. förmliche Unreduzierbarkeit des *linearen* Vektors und seine Richtungseinheit den statisch oder dynamisch wirkenden Kräften ihre Axiomatizität (dargestellt in ihrer ontologischen und epistemologischen Finalität) verleiht. Ebenso bildet die Kreisform der Bewegungsstruktur eines rotierenden Körpers (Figur 1)



Figur 1

zusammen mit den linear-vektoriellen Darstellungen der zentripetalen Krafftendenz, sowie der inertial-tangentialen Bewegungstendenz des Körpers, geometrische oder geometrisierte *Grenzformen* und *-strukturen*, deren Unreduzierbarkeit – sowohl in der Art ihrer Existenz als auch in ihrer Erkennbarkeit – das Axiomatische an diesem dynamischen Phänomen ausmacht. Auch das Faktum der Zeit, die in den dynamischen Phänomenen deutlich zutage tritt, lässt sich räumlich-geometrisch darstellen und demnach in eine *übergeordnete* geometrische Axiomatisierung der mechanischen Phänomene einbeziehen.

Als die grundlegende Bildwissenschaft axiomatisiert die Geometrie die mechanischen Phänomene in bildlichen Modi. Sowohl bei den ursprünglichen geometrischen Darstellungen, wie dem Kraftvektor, den linearen, kreisförmigen oder elliptischen Bewegungsstrukturen usw., als auch bei den komplexeren Operationen mit den zusammengesetzten geometrischen Darstellungen der mechanischen Phänomene, wie den geometrischen Demonstrationen der Keplerschen Grundgesetze des Flächensatzes oder der Elliptizität der Planetenbahnen in Newtons *Principia*, zeigen sich die Axiomatisierung und weiteren Deduktionen der mechanischen Prinzipien in geometrischen Bildern und bildlichen Operationen. Daher war es kein Zufall, dass Newtons *Principia*, die zu dem bedeutendsten Werk der frühneuzeitlichen mathematischen Wissenschaften zählt, zum großen Teil aus bildlichen Darstellungen der

geometrisch-mathematischen Demonstrationen mechanischer und optischer Naturphänomene bestand. Denn das Leitmotiv der *Principia* – als *Principia Mathematica Philosophia Naturalis* – war die *Demonstration* der geometrisch-mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie. Im Rahmen dieses Leitmotivs wurden zunächst auf der axiomatischen Ebene die Keplerschen Gesetze und die – ursprünglich von Robert Hooke vorgeschlagenen – Wesenszüge der Gravitation in ihrer Fernwirkung dargestellt und in ihrer Gesetzmäßigkeit einer Inverse-Square Law, sowie in ihrer Zusammenwirkung mit der inertial-tangentialen Bewegungstendenz der Planeten bei der Entstehung der elliptischen Planetenbahnen usw., geometrisch-mathematisch demonstriert. Diese ursprünglichen Demonstrationen verfügten über die rein bildlichen Intuitionen als das Basisverfahren der epistemologischen bzw. intuitiven und deduktiven Axiomatisierung der himmelsmechanischen Phänomene. Darin tritt die Bildlichkeit als Grundlage der Beweisbarkeit in Erscheinung. Einem unerfahrenen Leser würde die *Principia* zum großen Teil wie ein geometrisches Bilderbuch vorkommen. Auch ein erfahrener, bzw. in der Wissenschaft der Mechanik gebildeter Leser, würde ein wichtiges Merkmal dieses bahnbrechenden Meisterwerks der klassischen Mechanik kaum übersehen, nämlich dass die arithmetisch-algebraischen Operationen, die sich auf die Metrisierung der räumlichen und zeitlichen Quantitäten beziehen, hauptsächlich geometrisch demonstriert und als solche visualisiert werden.

Bei der geometrisch-mathematischen Axiomatisierung der mechanischen Grundprinzipien verfügte Newton über jene erweiternde bildliche Intuition, was am ehesten in seiner Vorstellung von der Universalgravitation dargestellt wurde. Die axiomatische Vorstellung von der Universalgravitation, die sich grenzenlos ausdehnt, war im Grunde eine Erweiterung der sich bereits von Robert Hooke vorgestellten Einzelgravitation, deren Fernwirkung aber räumlich – auf einzelne Sphären – beschränkt ist. Diese und ähnliche axiomatischen Intuitionen bedürfen aber Beweisen auf der phänomenalen Ebene; d. h. diese ursprünglich spekulativen Intuitionen sollen bei der unmittelbaren Beobachtung der Phänomene sowie bei empirischen Experimenten bestätigt werden. Dies verweist auf die vorher erörterte notwendige Resonanz zwischen den intuitiven und den phänomenalen Strukturen, die allein den *apriorischen* bildlichen Intuitionen ihren axiomatischen Status und die – sich daran anschließende – Apodiktizität verleiht. Hierbei taucht ein wichtiges Problem der bildlich-axiomatischen Intuitionen mechanischer oder optischer Phänomene auf. Alle Intuitionen entstehen in der einzelsubjektiven Domäne und können demnach vielgestaltig und mehrdeutig sein. Dagegen erweist sich das Phänomenon als einheitlich und *an sich* aperspektivisch. Die existentielle Einheit des Phänomens *sollte* im Prinzip die Einheit der einzelsubjektiven

Intuitionen dieses Phänomens – unabhängig von der Vielfalt der Standpunkte und Perspektive – bestimmen und gewährleisten. Aber der Geist und alle geistigen Operationen können unbemerkt durch verschiedene innen- und außerwissenschaftliche Fakten beeinflusst werden. Diese könnten bestimmte Interessen und *doxastische* Neigungen, kulturelle und politische Parteinahme, Loyalität zu tradierten wissenschaftlichen Paradigmen, Resistenz gegenüber radikalen Änderungen und dem Umsturz des herrschenden Wissenschaftssystems, Unglaubwürdigkeit, das bloße Übersehen der grundlegenden wissenschaftlichen Fakten (zugunsten der Nebenfakten) usw. sein. Eine Wissenschaft, die von solchen Fakten ganz gering beeinflusst wird, wäre die Geometrie. Denn die geometrischen Intuitionen sind freiräumliche Intuitionen; demnach sind die axiomatischen geometrischen Formen und Strukturen Konstrukte im Freiraum. Der Euklidische Freiraum – als ausgedehntes Nichts – erweist sich sowohl in seiner apriorischen Vorstellbarkeit, als auch in seiner phänomenalen Gegebenheit, als einheitlich. Diese Einheit der freiräumlichen Basis verleiht den freiräumlichen Intuitionen in der Wissenschaft der Geometrie ihre unfehlbare Apodiktizität.

Die Wissenschaft der Mechanik, obwohl sie grundsätzlich eine geometrisch-mathematische Wissenschaft ist, baut neben dem Faktum des Freiraumes auch auf den materiellen Körpern und ihren phänomenalen Wesenszügen wie Ausdehnung, Solidität, Bewegung, latenten und externen Kräften usw. auf. Daher bedingen die mechanischen und optischen Intuitionen im Vergleich zu den (vollkommen apriorischen) geometrischen Intuitionen eine notwendige Resonanz zwischen den subjektiv-intuitiven und den objektiv-phänomenalen Strukturen, wie vorher erörtert wurde. Wenn diese Resonanz, die allein die Apodiktizität der axiomatischen Intuitionen gewährleistet, durch die oben genannten innen- und außerwissenschaftlichen Fakten gefährdet wird, entsteht jene problematische Axiomatisierung der Naturphänomene, dargestellt durch unangemessene Annahmen und Methoden, das bloße Übersehen oder die Vernachlässigung wichtiger Fakten und vor allem durch falsche und lange tradierte *Bilder*. Die Anomalien, die bei jener gefährdeten und demnach ungereimten Resonanz zwischen der wissenschaftlich-epistemologischen Intuition und dem intuitiv erkannten Phänomenon entsteht, die aber hinter dem Axiom versteckt bleiben, veranlassen gewöhnlich die Tradierung eines wissenschaftlichen Paradigmas. In solchen Fällen führt die Axiomatisierung geläufig zur Paradigmatisierung.

Das Bild des Gezeitenphänomens

In der *Principia* führt Newton das Gezeitenphänomen, für das es seit der Antike mehrere Erklärungen gab, *kausal* auf das Prinzip der von ihm selbst vorgestellten Universalgravitation zurück. Demnach entstehen die Gezeiten durch die Wirkung der gravitationellen Anziehung des Monds auf die massiven Wasserkörper in Meeren und Seen.² Nach dem Newtonschen Prinzip wird die Wasserebene in Meeren und in großen Seen durch die lunare und die solare Gravitation angehoben, was die in verschiedenen Erdteilen beobachteten und täglich wiederkehrenden Gezeiten an Ufern – vorzüglich in einer Sukzession von Flut und Ebbe – zustande bringt. Im Falle einer Zusammenwirkung von lunarer und solarer Gravitation auf den Meeren entsteht die Springtide. Eine Nipptide entsteht, wenn die Sonne und der Mond mit der Erde eine rechtwinklige Konstellation bilden und folglich ihre gravitationelle Anziehung sich gegenseitig so gut wie annulliert. Newton erklärte die sich scheinbar ausgleichende Entwicklung der Gezeiten auf der gegenüberstehenden Erdhemisphäre (die den vorherigen Wissenschaftlern und Philosophen, die das Gezeitenphänomen zu erklären suchten, rätselhaft vorkam) mit seinem Trägheitsprinzip.

Die Newtonsche Erklärung der Gezeiten zählt bis heute zu der bedeutendsten und am meisten anerkannten Theorie dieses Naturphänomens; deren Aktualität und weltweite Legitimität in der Schulpädagogik sind nicht zu bestreiten. Für Newton war seine Erklärung des Gezeitenphänomens ursprünglich ein angemessener empirischer Beweis für seine axiomatische Grundvorstellung von Universalgravitation, nach der sich alle Himmelskörper gegenseitig anziehen. Während für die irdische Gravitation zahlreiche – unmittelbar zu beobachtende und experimentell zu bestätigende – empirische Belege nachweisbar sind, würde uns jene Unternehmung, die Anziehung der außerirdischen Gravitationssphären auf die Erde zu beweisen, nicht leicht fallen. Denn die gravitationelle Anziehung des Monds und der anderen Planeten ist nicht stark genug, um solide Objekte von ihrer Verbundenheit mit der Erdoberfläche loszureißen bzw. sie zur Überwindung der Erdgravitation zu veranlassen. Beim Gezeitenphänomen, bzw. bei der Flut, sah Newton eine Möglichkeit, wie die dynamische Flexibilität der riesigen Wassermassen in den Meeren der außerirdisch-gravitationellen Anziehung des Monds und der Sonne unterworfen werden kann. Die Newtonsche Theorie des Gezeitenphänomens übertraf die Gezeitentheorie von Galileo (nach der die Gezeiten durch ein *spekulierte* dynamisches Phänomen, nämlich die tägliche Verlangsamung der Erddrehung, und gemäß dem Trägheitsprinzip entstehen); alle weiteren Theorien der Gezeiten erwiesen

² Siehe Anmerkung 3.

sich mehr oder weniger als Modifizierungen der tradierten Newtonschen Erklärung der Gezeitenphänomene. In dieser Weise etablierte sich die Newtonsche Gezeitentheorie historisch fast als ein Paradigma, das allerdings ein größeres bzw. übergeordnetes Paradigma, nämlich die Universalgravitation, unterstützen sollte.

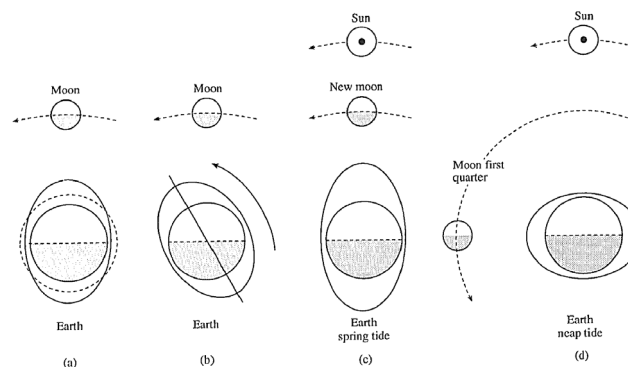
Hierbei fällt interessanterweise auf, dass Newton, der die meisten propädeutischen Axiome in der *Principia* und deren Erweiterungen zu verschiedenen himmelsmechanischen Theorien geometrisch bzw. durch geometrische Bilder darstellte, zu seiner Erklärung des Gezeitenphänomens keine bildliche Demonstration gab, es statt dessen lediglich beschrieb. Allerdings kann jeder, der mit der Klassischen Mechanik – insbesondere mit dem Prinzip der Gravitation, der Trägheit und der Wissenschaft der Hydrostatik – vertraut ist, aus der deutlichen Erklärung Newtons mühelos das *Bild* oder die Bilder von der Entstehung der Gezeiten entwerfen.³ Denn diese Bilder brauchen die in der Newtonschen Erklärung gegebenen und die anderen vorgegebenen sowie vorausgesetzten Fakten, wie die Natur und Struktur lunarer und solarer Gravitation, die Sphärizität der Erde und die Hydrostatik des

³ In seiner Übersetzung der *Principia* zeigt Subramanyam S. Chandrasekhar Bilder (Fig. 2) des Gezeitenphänomens, die sich aus der Newtonschen Erklärung entwickeln lassen, und die mit der konventionellen Darstellung der Gezeiten in Schulbüchern strukturell übereinstimmen:

„The basic kinematic elements of the theory outlined by Newton are the following:

- (i) The tidal action of one gravitating body on another is to effect equal bulges at antipodal points of the attracting body;
- (ii) The Moon and the Sun effect such bulges in the ocean (assumed to cover the Earth) in the instantaneous directions of the Moon and of the Sun, respectively, the effect of the latter being about one-half (or more precisely 0.44) of the former;
- (iii) The bulges caused by the Moon and the Sun are carried, independently, by friction with the changing positions of the Moon and of the Sun by the orbital motion of the Moon about the Earth and of the Earth about the Sun, both coupled with the relation of the Earth.

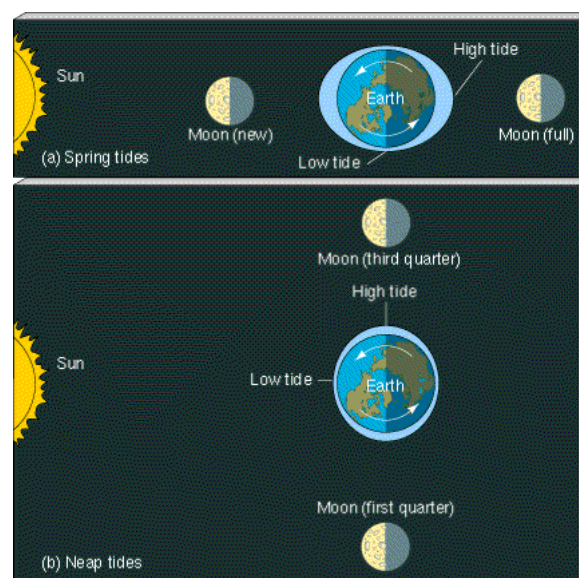
The known periodicities of the tides (which troubled Sagredo) follow from the premises in self-evident fashion (see illustration): the *high tide* occurs at (b) when a particular location on the Earth is carried past the bulge; at new and full Moon act together to give spring tides which are greater than the neap tides at first and last quarter.”



Figur 2

Chandrasekhar, S: Newton's *Principia* for the Common Reader, Oxford University Press, New York 1995, S. 399-400.

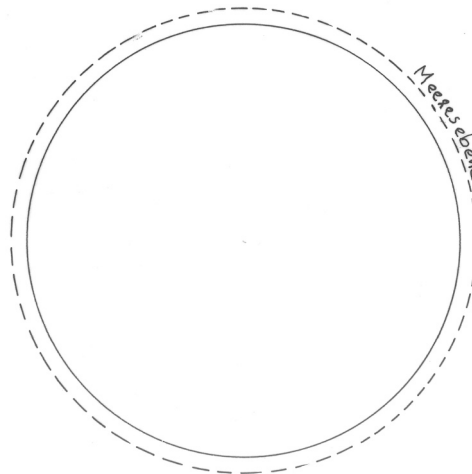
Wasservolumens in Meeren, unmittelbar darzustellen. Figur 3 zeigt ein geläufiges und durchaus aktuelles Bild des Gezeitenphänomens, das sich aus der Newtonschen Erklärung in der *Principia* entwickeln lässt. Dieses und ähnliche Bilder tradierten seit dem 17. Jahrhundert und verbreiteten sich in der ganzen Welt durch die Lehrbücher der Mechanik. Es ist wichtig hier anzumerken, dass es letzten Endes nicht die verbale Erklärung des Gezeitenphänomens in der *Principia*, sondern diese und analoge Bilder waren, die die Newtonsche Theorie der Gezeiten historisch und zwar paradigmatisch etablierten. Schüler und Forscher der Mechanik, wenn sie sich mit dem Gezeitenphänomen beschäftigen, würden von diesem jahrhundertlang tradierten Bild ausgehen, das uns durch alle Lehrbücher der Mechanik und – heutzutage – durch zahlreiche Onlinequellen sehr familiär geworden ist.



Figur 3

Die Aktualität und Überzeugungskraft dieses Bildes, das eigentlich vor drei Jahrhunderten entstanden ist, werden immer wieder durch seine wiederholte Verwendung in der Schulpädagogik sowie in der fortgeschrittenen Forschung belegt. Aber wenn dieses Bild oder ähnliche Bilder mit einer unfehlbaren mechanischen und architektonischen Gesinnung erneut und näher betrachtet werden, lässt sich leicht erkennen, dass dies eine vollkommen unangemessene oder sogar falsche Darstellung des Gezeitenphänomens ist. Dieses Bild ist eine falsche Darstellung, weil seine mechanische und geographisch-architektonische *Korrektur* der ursprünglichen Newtonschen Erklärung von vornherein widerspricht. Dieses und ähnliche Bilder stellen entweder einen Plan der Erde – beliebig von oben auf die Pole betrachtet – oder einen äquatorialen Querschnitt dar. Sowohl als Plan als auch als Querschnitt der Erde zeigt dieses Bild eine Erdoberfläche, die *vollkommen von Wasser bedeckt ist*. Dies

ist ein fundamentaler Irrtum in allen diesen Darstellungen, der aber entweder bloß übersehen oder stillschweigend zugunsten der Newtonschen Gezeitentheorie unterdrückt wurde. Denn die Ebene aller Wasserkörper auf der Erde – der Seen, Meere oder Flüsse – ist die tiefste Ebene, die durch höhere Land- und Berggebiete umgeben ist. Eliminiert man aus diesem Bild das Faktum der außerirdischen bzw. lunar- und solargravitationellen Anziehung, zeigt es den ursprünglichen Zustand der Erde folgendermaßen:



Figur 4

Wenn die Wölbung der Meeresebene, die durch die Anziehung der lunaren und solaren Gravitation zustande kommt, aufgelöst wird, wird die Wasserebene ebenmäßig bzw. ebenso sphärisch wie die Erde die Erdoberfläche umgeben, wie das Bild hier zeigt. Der dargestellte Zustand der Erde, die vollkommen geflutet erscheint, hätte in einer alttestamentarischen Vergangenheit, nämlich in der Zeit Noahes, oder in einem indisch-mythologischen Urzustand des *Pralaya* existiert. Der normale – vergangene und gegenwärtige – Zustand der Erde, die den außerirdischen Einzelgravitationen unterworfen ist, sollte aber anders dargestellt werden.

Die Falschheit dieser tradierten bildlichen Darstellung kann leicht korrigiert werden. Man braucht hier nur von der richtigen bzw. korrigierten *bildlichen Prämisse* auszugehen. Sie ist offensichtlich die ursprüngliche Darstellung des Erdquerschnitts, in der die Wasserebene der Meere, Seen und Flüsse als die tiefste *sphärische* Ebene erscheint und von höheren Lands- und Bergebenen *durchbrochen* wird. Dadurch wird die hydrostatische Kontinuität, die das tradierte Bild des Gezeitenphänomens fälschlicherweise darstellt, deutlich durchbrochen und dabei die Meere und Seen, die durch Land- und Berggebiete umgeben sind, im Einzelnen betrachtet bzw. als voneinander isolierte Wassermassen behandelt. Eine derartige geographisch-architektonische Korrektur kann allerdings im Rahmen der Theorie der

Universalgravitation, die hier das übergeordnete Paradigma bildet (und für dessen Bestätigung Newton seine Gezeitentheorie entwickelte), nicht durchgeführt werden. Denn sie würde die paradigmatische Vorstellung von Universalgravitation maßgeblich verletzen bzw. ihr völlig widersprechen. Wenn die Meeres- oder Seenebene als die tiefste Ebene auf der Erdoberfläche dargestellt und demnach als durch die umgebenden Land- und Berggebiete isolierten Wassermassen behandelt wird, sollte sich aus der Zusammenwirkung von der lunaren und solaren Gravitation *hydrostatisch* keine Sukzession von Flut und Ebbe, wie in den gewöhnlichen tagtäglichen Gezeitenphänomenen beobachtet wird, sondern umgekehrt eine Sukzession von Ebbe und Flut ergeben. Dies würde darauf hinweisen, dass das beobachtete Gezeitenphänomen, in dem die Flut der Ebbe vorausgeht, nicht durch eine außerirdische gravitationelle Anziehung, sondern durch eine gravitationelle *Abstoßung* des Mondes und der Sonne auf der Erde zustande kommt, was der axiomatischen Vorstellung von Universalgravitation von vornherein widersprechen würde.

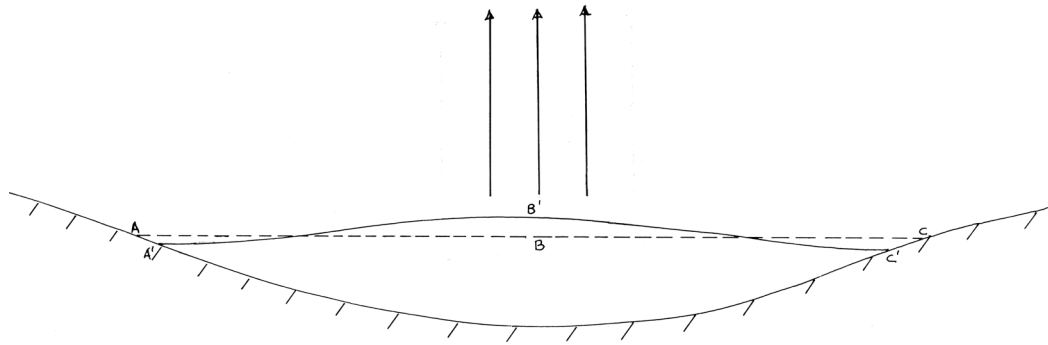
Newtons Begründung der lunar- und solargravitationellen Wirkung auf das irdische Phänomen der Gezeiten basiert offensichtlich auf dem Prinzip der hydrostatischen Gleichgewichtslage. Dabei scheint sich Newton auf eine einfache und *naive* Analogie zwischen der gravitationellen Anziehung, die das vertikale Fallen der soliden und fluiden Objekte zur Erde zustande bringt, und der ebenso vertikalen bzw. zentrifugalen Abhebung der Wasserebenen in der Form einer Wölbung auf den Meeren (durch die Zusammenwirkung von lunarer und solarer Gravitation) zu stützen. In der Geschichte der Gezeitenforschung gab es zahlreiche Unternehmungen, in denen neben und auch gegenüber dem in Allgemeinen angenommenen Erklärungsprinzip Newtons andere irdisch-mechanische Ursachen für das Naturphänomen der Gezeiten gesucht wurden. Denn man entdeckte Anomalien im Gezeitenphänomen an verschiedenen Orten der Erde, die dem Newtonschen Gesetz der Gezeiten und seiner Fähigkeit, dieses Phänomen zu prognostizieren, zu widersprechen schienen. Aber die unfehlbare Periodizität bzw. das tägliche und regelmäßige Ereignis der Gezeiten und dessen Zusammenhang mit der himmelsmechanischen Konstellation zwischen der Erde, dem Mond und der Sonne belegen deutlich, dass die Gezeiten und die genaue Periodizität ihrer Entstehung letztendlich auf die gravitationelle Wirkung von Mond und Sonne auf den riesigen Meeren auf der Erdoberfläche zurückzuführen sind.

Die Wölbung der Wassermasse durch die gravitationelle Anziehung von Mond und Sonne, wie die Figur 3 darstellt, ist bekanntlich ein hydrodynamisches Phänomen. Denn das Wasser ist ein Fluidum, dessen Oberfläche sich unter der Wirkung einer vertikalen Kraft wie der

gravitationellen Anziehung nicht überall gleich angehoben wird.⁴ Die Erhöhung der Meeresebene bei Gezeiten in der Form einer Wölbung entsteht aber *hydrodynamisch* nicht am Rande der Meere oder Seen, sondern im Inneren des Meeres, in dem das Wasser viel tiefer ist. Neben dem hydrodynamischen Strukturprinzip, gemäß dem sich die Wassermasse gegenüber der gravitationellen Anziehung verhält, bildet die Tiefe des Wassers hierbei ein entscheidendes Faktum. Denn gemäß dem Gravitationsgesetz wird der tiefe und demnach schwere Wasserkörper im Meer stärker angezogen als das untiefe Wasser an Meeresufern. Aber das Phänomen der Gezeiten ereignet sich an Meeresufern in einer Sukzession von Flut und Ebbe. Gemäß der Newtonschen Erklärung der Gezeiten veranlasst die gravitationelle Wölbung des tieferen Wasserkörpers in Meeren und deren Auflösung – durch die Drehung der Erde – das Gezeitenphänomen bzw. die Sukzession von Flut und Ebbe.

Diese Schlussfolgerung Newtons scheint aber auf einer unzureichenden oder sogar ungereimten *strukturellen Intuition* des Gezeitenphänomens zu basieren. Wenn wir in unserer *intuitiven Vorstellung* vom Gezeitenphänomen uns genau auf die Struktur der lunaren aber auch der irdischen gravitationellen Anziehung zusammen mit der sphärischen Form dieser Himmelskörper und dem genauen hydrodynamisch-strukturellen Verhalten des Wasserkörpers im Meer fokussieren, würde es uns rätselhaft vorkommen, warum die gravitationelle Wölbung der Meeresoberfläche im Gezeitenphänomen *zunächst* eine Flut am Meeresufer entstehen lässt. Im Folgenden versuchen wir die mögliche strukturelle Intuition des Gezeitenphänomens und seine Phänomenalität anhand einiger hydrodynamischer Modelle erneut zu untersuchen. Zunächst sehen wir von der exakten Struktur der (lunaren und irdischen) Gravitation und der ursprünglichen sphärischen Wölbung der Meeresoberfläche auf der Erde ab, und versuchen uns das Gezeitenphänomen durch die rein vertikale Wirkung der Gravitation auf einer flachen Wasserebene vorzustellen.

⁴ Ein Beispiel für die gleichmäßige Erhöhung der Wasserebene ist die Flut auf Flüssen und Seen, die meistens durch starken und dauerhaften Regenfall sowie durch die Schmelzung der Schnee auf Bergen zustande kommt. Die Gezeiten unterscheiden sich von solchen gewöhnlichen Fluten dadurch, dass sie nicht durch derartige Addition des Wassers entstehen.



Figur 5

Figur 5 stellt den Querschnitt eines Meeres oder eines großen Sees dar. ABC (gebrochene Linie) zeigt die ursprüngliche horizontale Wasserebene. A'B'C' zeigt die *Deformation* der Wasseroberfläche, wenn dieser Wasserkörper durch die lunare Gravitation nach oben angezogen wird. Zur Mitte des Meeres hin entsteht eine Wölbung, infolge deren die Wasserebene am Ufer *zurücktritt*, woraus sich *zunächst* eine Ebbe ergibt. Dieses Verhalten des Wasserkörpers bzw. derartige Deformationen der Wasserebene unter der Wirkung der gravitationellen Anziehung lassen sich zum einen auf die Hydrodynamik und zum anderen auf die Vertiefung des Wassers und demnach die Erhöhung der Wassermasse zur Mitte des Meeres hin zurückführen, wie vorher erörtert wurde. In dieser Darstellung werden einige *strukturelle* Charakteristiken – als ursprüngliche Prämissen –, die für das Gezeitenphänomen maßgebend sind, nicht mitberücksichtigt, nämlich die zentripetale Anziehungsstruktur der lunaren und irdischen Gravitation und die ursprüngliche sphäroidische Wölbung der Wasserebene – gemäß der Sphärizität der Erde –, die durch die irdische Gravitation zustande kommt. Dadurch merken wir, wie das Gezeitenphänomen auch ohne diese Prämissen anders verläuft als man es sich bisher vorgestellt hatte. Wenn die Wasserebene des Meeres durch die Zusammenwirkung der lunaren und solaren Gravitation nach oben gewölbt wird, sollte dadurch an den Ufern des Meeres *zunächst* eine Ebbe und keine Flut entstehen.

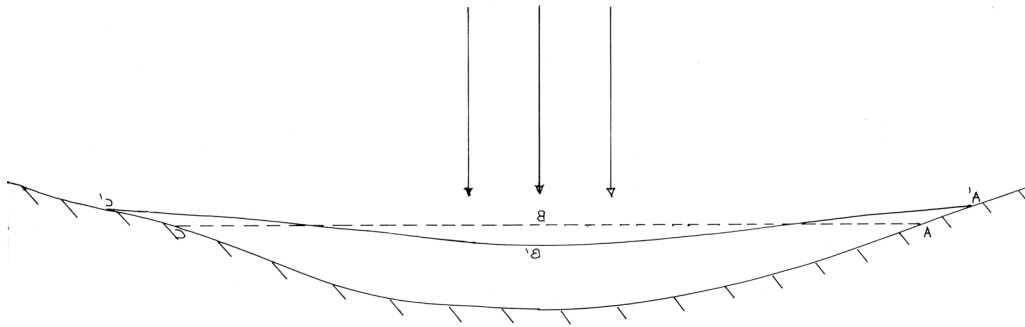
Das Verhalten des Wasserkörpers in diesem Modell des Gezeitenphänomens bestimmen wir intuitiv, indem die mechanischen Eigenschaften des Wassers als Fluidum mitberücksichtigt werden. Eine empirische Beobachtung dieses Phänomens bzw. einer derartigen Deformation der Wasserebene durch die gravitationelle Anziehung von Mond und Sonne scheint ein schwieriges Unterfangen zu sein. Denn die Meeres- oder Ozeanoberfläche wird im Gezeitenphänomen nur leicht gewölbt, was auch aufgrund der ursprünglichen Sphärizität der Ozeanoberfläche und ihrer enormen Ausdehnung, aus der sich die Wölbung erhebt, schwer zu beobachten ist. Aber ein anderes und analoges Naturphänomen belegt die oben dargestellte

und erörtere Intuition des Gezeitenphänomens deutlich, nämlich der *Tsunami*. Beim Tsunami entsteht *zunächst* eine riesige Aufwölbung der Ozeanoberfläche, die durch ein Erdbeben am Ozeanboden ausgelöst wird. Während beim Gezeitenphänomen die ursprüngliche Wölbung der Ozeanoberfläche durch die gravitationelle Anziehung entstehen soll, kommt sie beim Tsunami durch einen Aufwärtsdruck der Wasserwellen, die das Erdbeben am Ozeanboden auslösen, zustande. Abgesehen von diesem Unterschied erweisen sich beide Phänomene *strukturell* bzw. in ihrer hydrodynamisch-strukturellen *Wirkung* als durchaus analog. Indem diese Aufwärtswölbung der Ozeanoberfläche beim Tsunami im Vergleich zu der analogen Wölbung bei der Gravitation kein graduelles, sondern ein plötzliches Ereignis ist, lässt sich das resultierende Verhalten der Ozeanoberfläche am Ufer ebenso schnell – in einem erheblich kürzeren Zeitraum – beobachten. Das allererste und wichtigste Symptom eines Tsunami ist das relativ schnelle Zurückweichen der Wasserebene *an den betroffenen Ufern des Ozeans*. An manchen Ufern (die nicht weit vom Epizentrum des Erdbebens am Ozeanboden entfernt liegen) kann ein massives Zurückweichen der Ozeanebene – von bis zu 100 Metern – in einem Zeitraum von wenigen Minuten beobachtet werden. Dieses unmittelbar zu beobachtende Phänomen ist offensichtlich nicht der Flut, sondern der Ebbe bei den Gezeiten analog.

Sowohl bei den Gezeiten, die durch die außerirdische Anziehung der lunaren und solaren Gravitation auf dem Meer entstehen, als auch bei einem Tsunami, der durch ein unterirdisches Erdbeben und den – daran anschließenden – Aufwärtsdruck der Wasserwellen zustande kommt, wird kein Volumen des Wassers erzeugt. Das ursprüngliche Volumen des Wasserkörpers im Meer (oder in einem See) bleibt innerhalb des Wirkungsbereiches der Gezeiten und des Tsunami mehr oder weniger konstant, so dass die Aufwärtswölbung der Wasserebene zur Mitte des Meeres hin notwendigerweise durch eine Ebbe am Meeresufer ausgeglichen wird. Fluten an Flüssen und Seen hingegen entstehen durch die Addition des Wasservolumens eingespeist durch Bäche und kleinere Flüsse im Falle heftigen und lang dauernden Regens, wie vorher erörtert wurde. Eine derartige Flut entsteht offensichtlich durch eine ebenmäßige Erhöhung der Fluss- oder Meeresebene und lässt sich als solche mit der Flut an Meeresufern bei den Gezeiten nicht vergleichen.

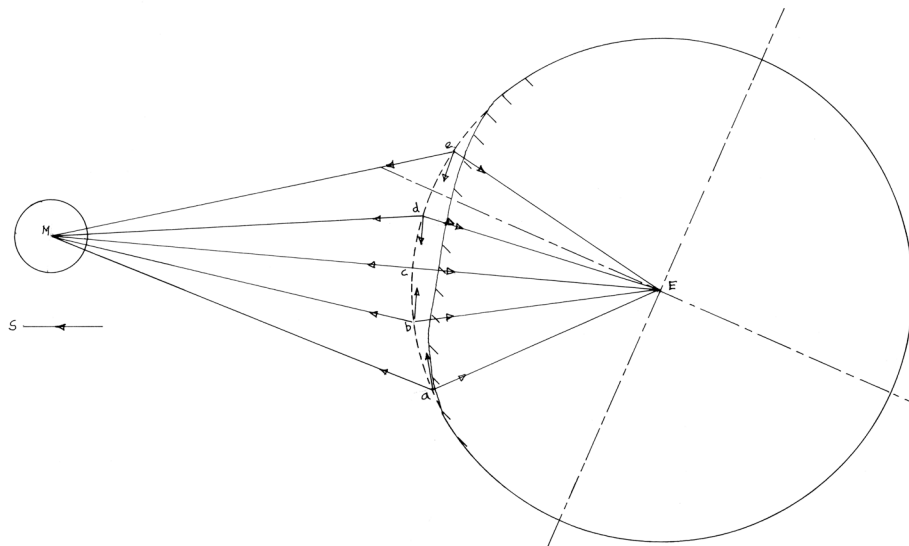
Nun stehen wir vor einer entscheidenden Problematik: Bei den Gezeiten wird an den Meeresufern keine Sukzession von Ebbe zur Flut (wie im analogen Falle des Tsunami), sondern umgekehrt eine Sukzession von Flut zur Ebbe beobachtet. Dem beobachteten Phänomen der Sukzession von Flut zur Ebbe bei den Gezeiten entsprechend, sollte die

Struktur der Deformation der Meeresebene, die die lunare und ihre Zusammenwirkung mit der solaren Gravitation zustande bringt, sich anders bzw. umgekehrt vorgestellt werden. Bei den Gezeiten kann sich die Meeresebene an den Ufern bei einer Flut nur erhöhen, wenn die lunare und die solare Gravitation eine Einbuchtung der Meeresebene im tiefen Meer zustande bringen, wie Figur 6 darstellt:



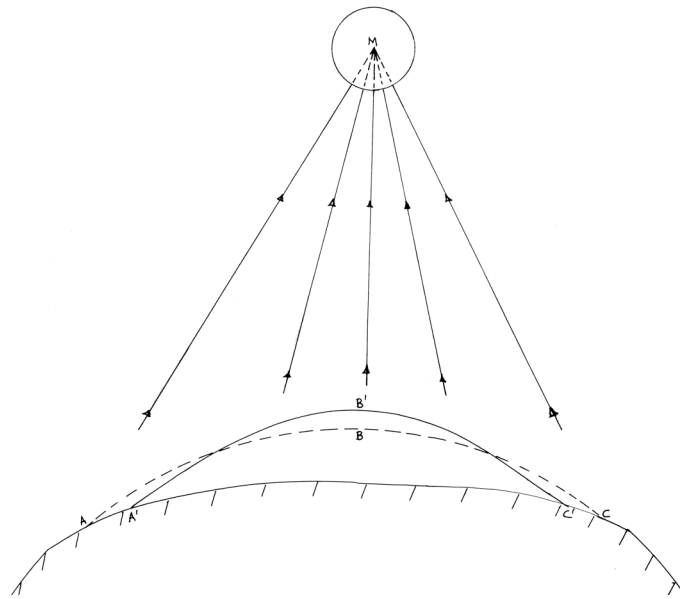
Figur 6

Bei beiden oben erörterten Modellen des Gezeitenphänomens ist eine flache Meeresebene und die vertikale und parallele Wirkung der Gravitation dargestellt. Auch mit diesen Prämissen – ohne die wahre Struktur der Gravitation und der Meeresebene – vermögen wir das hydrodynamische Verhalten der Meeresebene zu erkennen bzw. intuitiv zu visualisieren. Aber wenn die zentripetale Struktur der (irdischen, lunaren und solaren) Gravitation sowie die Sphärizität der Meeresebene auf der Erde und auch die Sphärizität des Mondes in unserer strukturellen Intuition des Gezeitenphänomens mitberücksichtigt werden, sehen wir, wie die oben festgestellten Ergebnisse der Gezeiten unter der Wirkung von lunarer, solarer aber auch irdischer Gravitation viel deutlicher zutage treten. Im folgenden Modell werden die richtige Sphärizität der Meeresebene auf der Erde und der Mondoberfläche, die sich einander nähern, sowie die zentripetale Struktur der Gravitation dargestellt:



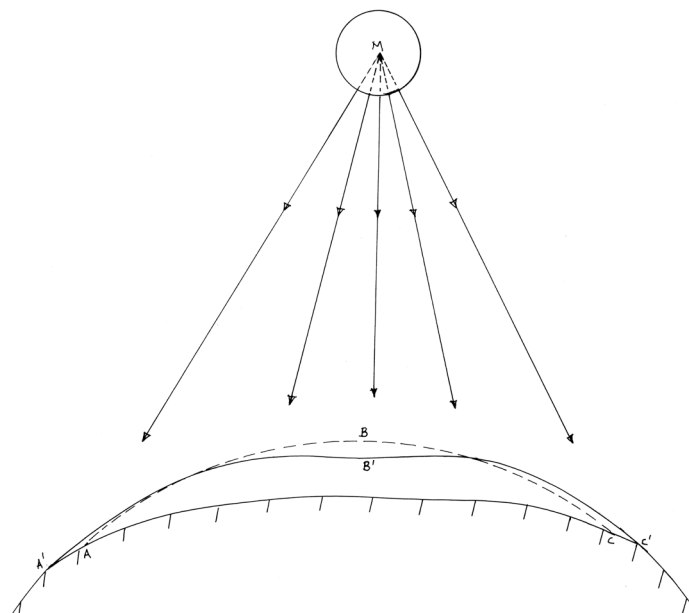
Figur 7

Figur 7 zeigt die wirkliche zentripetal-vektorielle Struktur der lunaren und irdischen gravitationellen Anziehung auf dem Meer, dessen Ebene aufgrund der *zentripetalen Anziehung* der irdischen Gravitation sphäroidisch – wie die Erdoberfläche – geformt ist. Aus dieser annähernd exakten Struktur der gravitationellen Anziehung ist leicht zu folgern bzw. sich intuitiv vorzustellen, wie eine Aufwärtswölbung auf der Meeresebene *zunächst* das Zurücktreten des Wassers – und somit eine Ebbe – an den Meeresufern zustande bringt. An den Kreuzungspunkten der zentripetal-gravitationellen Vektoren, nämlich den Punkten a, b, d und e, entstehen Resultante, die sich hin zum Zentrum der Wölbung (c) richten. Durch die Sphärizität der Erde und des Mondes vermindert sich die Gravitationskraft des Mondes von c zu e sowie von c zu a – d. h. vom Zentrum der Wölbung hin zu den Ufern oder vom tiefen zum untiefen Wasser hin. Gemäß der Sphärizität der Meeresebene auf der Erde soll sich die Aufwärtswölbung in alle Richtungen auf der sphärischen Meeresebene – etwa kreisförmig – erstrecken. Dadurch wird das Wasser aus der Peripherie der Wölbung zur Mitte hingezogen. Das Wasser an den Meeresufern wird dabei im Vergleich zum Wasser im tiefen Meer viel leichter zurücktreten, weil das Meer an den Ufern untief ist und demnach seine verteilte Masse viel geringer wird. Die folgende Figur stellt das hydrodynamische Verhalten der Meeresebene im Falle ihrer Aufwärtswölbung durch die lunar-gravitationelle Anziehung dar:



Figur 8

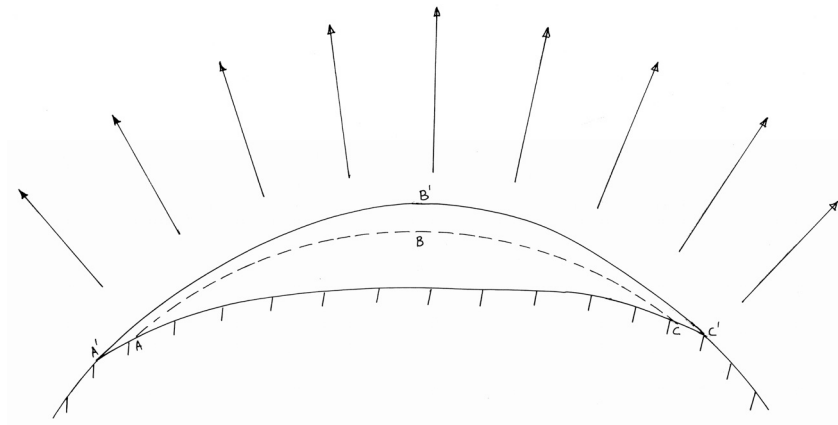
ABC zeigt die ursprüngliche sphäroidisch geformte Meeresebene und A'B'C' die Deformation bzw. die Aufwärtswölbung der Meeresebene durch die lunare zentripetal-gravitationelle Anziehung. Durch die Aufwärtswölbung tritt das Meer an Ufern zurück (A'A und C'C), was eine Ebbe zur Folge hat. Um dagegen eine Flut an den Meeresufern entstehen zu lassen, soll eine zentripetal-gravitationelle Abstoßung auf dem Meer wirken, was zu einer Aufwärtswölbung der Meeresebene und folglich zu einer Flut an den Meeresufern führt, wie Figur 9 darstellt:



Figur 9

Wie vorher erörtert wurde, lassen sich die Aufwärts- oder Abwärtswölbung der *ursprünglich sphärischen* Meeresebene sich nicht leicht beobachten. Was als einzige empirische Evidenz gegeben ist, ist die zeitliche Sukzession von Flut und Ebbe. Ein einigermaßen analoges, aber durchaus allgemeines Meeresphänomen wären die Meereswellen an den Ufern selbst, die durch den Druck des heftigen Meereswinds auf der Meeresebene zustande kommen. Bei Meereswellen entsteht zwar keine mit den Gezeiten vergleichbare dauerhafte Flut an den Meeresufern, aber die Dynamik dieser winzigen „Flut“ an den Ufern und deren Verursachung durch den heftigen Druck des Windes auf der Meeresebene sind unmittelbar zu beobachten.

Newton und die Anhänger seines Gezeitengesetzes schienen sich bei der Intuition des Gezeitenphänomens eine sich bis auf die Meeresufer erstreckende Aufwärtswölbung der Meeresebene vorzustellen, wie die gewöhnliche Darstellung der Gezeitenphänomene durch die lunare und solare Anziehung zeigt (Figur 3). Dies erweist sich als ein treffendes Beispiel dafür, wie man *voreilig* zur Bestätigung seiner spekulativen Vorstellung ein unmittelbar zu erfahrendes Naturphänomen, nämlich die Erhöhung der Meeresebene an den Ufern bei den Gezeiten, extrapoliert bzw. es sich vom Ufer bis hin zum tiefen Meer erstrecken lässt, ohne dabei die mechanischen bzw. gravitationellen und hydrodynamischen Strukturen, die dem Gezeitenphänomen zugrunde liegen, hinreichend zu berücksichtigen. Eine Erhöhung der gesamten betroffenen Meeresebene bei den Gezeiten ist offensichtlich ein unmögliches Ergebnis, denn erstens ist das Volumen der *Wasserdecke* auf dem Meer enorm schwer, so dass keine außerirdische Gravitation die gesamte betroffene Meeresebene – gegenüber der entgegenwirkenden irdischen Gravitation – abheben kann, und zweitens setzt die zentripetale Struktur der lunaren und irdischen Gravitation sowie die Sphärizität des Monds und der Erde *strukturell* voraus, dass die Aufwärtswölbung der Meeresebene sich nach allen Richtungen gleichermaßen ausstreckt – wie eine Kreisoberfläche auf der Erdkugel – und folglich das untiefe Wasser an Meeresufern leichter zurücktritt als das Wasser im tiefen Meer. Eine komplette Ausdehnung der Aufwärtswölbung der Meeresebene bei den Gezeiten – bis zu den Meeresufern hin – würde eine ganz andere Struktur der lunaren Gravitation voraussetzen, wie Figur 10 zeigt:



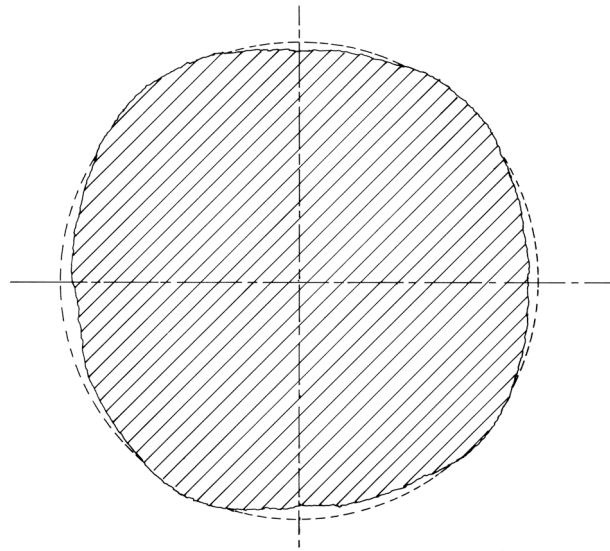
Figur 10

Die hier dargestellte Struktur der lunar-gravitationellen Anziehung bedingt, dass die lunare Gravitationssphäre, wie eine konkave Sphäroide, die gesamte Meeresebene umgibt – also eine unmögliche gravitationelle Struktur, die gerade der realen zentripetalen Struktur der lunaren Gravitation entgegengesetzt ist.

Bei der Aufwärtswölbung der Meeresebene (in der Zone des tiefen Meeres) bei den Gezeiten wird zunächst das untiefe Wasser an den naheliegenden Meeresufern zurücktreten, bevor die Erhöhung der Wasserebene bei der Aufwärtswölbung durch die Anziehung des Wassers von weit entfernten tiefen Meerengebieten und Meeresufern kompensiert wird. Deshalb können wir nicht davon ausgehen, dass bei der Aufwärtswölbung eines bestimmten Gebiets auf der Meeresebene einerseits die Wasservolumina von weit entfernten und durch die lunare Anziehung kaum betroffenen Meeressgebieten gewonnen und zugleich als Gezeitenwellen an das naheliegende Meeresufer gedrängt werden. Die lunar-gravitationelle Anziehung, welche die Aufwärtswölbung der Meeresebene verursacht und über einen kurzen Zeitraum aufrechterhält, muss es notwendigerweise verhindern, dass die Aufwärtswölbung der Meeresebene sich zugleich in Gezeitenwellen auflöst und dabei eine Flut an den Meeresufern zustande bringt. Darüber hinaus setzen die Sphärizität der Erde und des Mondes, sowie die zentripetale Struktur ihrer gravitationellen Anziehung eine zentrifugal-kreisförmige Ausdehnung der Aufwärtswölbung der Meeresebene bei den Gezeiten voraus, infolgedessen werden alle Meeressgebieten – die Zone des Tiefenmeeres und der Ufer – an der Peripherie der kreisförmigen Ausdehnung der Aufwärtswölbung gleichermaßen betroffen. Demnach wird die periphere Meeresebene an den Ufern gesunken und folglich tritt sie zurück. Die Erhöhung der Meeresebene an den Ufern während der Gezeitenflut schien *voreilig* auf die lunargravitationelle Abhebung der Meeresebene auf der Erde zurückgeführt zu werden. Dabei schien sich Newton bloß auf eine himmelsmechanische Ursächlichkeit des

Gezeitenphänomens zu fokussieren, nämlich auf die lunar- und solargravitationelle Anziehung und Abhebung der *irdischen* Meeresebene, und weniger auf das tatsächliche hydrodynamische Verhalten des Meeresebene, als er die Erhöhung der Meeresebene an Ufern bei der Gezeitenflut lediglich auf eine lunar- und solargravitationelle Aufwärtswölbung des Meeres zurückführte.

Die deutliche Ungereimtheit in der Newtonschen Vorstellung vom Gezeitenphänomen – auf der Basis der Universalgravitation – könnte beseitigt werden, wenn das Gezeitenphänomen auf der Erde von Anfang an durch ein richtiges bzw. geographisch-architektonisch korrektes Bild des Plans oder des Erdquerschnitts dargestellt und analysiert würde. Ein korrektes Bild des Erdquerschnitts, in dem die Meeresebene als die tiefste Ebene auf der Erdoberfläche dargestellt werden sollte, würde – zwar nur repräsentativ – folgendermaßen aussehen:



Figur 11

Hier stellen die gebrochenen Linien auf der Kreisperipherie des Erdquerschnitts die durch die höheren Land- und Bergebenen vereinzelt Meere dar. Falls dieses Bild zur Darstellung des Gezeitenphänomens benutzt würde, würde es der Newtonschen Erklärung des Gezeitenphänomens von Grund auf widersprechen. Dies konnte aber nicht geschehen, da die Überzeugung von der Universalgravitation, nach der sich alle Himmelskörper gegenseitig anziehen, vorherrschend blieb und sich als ein übergeordnetes Paradigma in der post-Newtonschen Entwicklungsgeschichte der Himmelsmechanik etablierte hatte. Weil die Newtonsche Erklärung des Gezeitenphänomens zu der wichtigsten empirischen Evidenz für die Universalgravitation zählte, wurde diese Anomalie in der Demonstration bzw. in der bildlichen Darstellung der Newtonschen Gezeitentheorie entweder bloß übersehen, oder –

zugunsten der Paradigmatisierung der Universalgravitation – strategisch unterdrückt. Allerdings ist kaum anzunehmen, dass diese deutliche Anomalie in der bildlichen Demonstration des Gezeitenphänomens in der post-Newtonschen Gezeitenforschung unbemerkt blieb. Ein treffendes Beispiel dafür ist lediglich eine flüchtige Bemerkung von Sir George Howard Darwin in seinem Hauptwerk „The Tides“, dass die Gezeiten scheinbar durch eine lunar-gravitationelle Abstoßung zustande kämen:

„It would seem then as if the tidal action of the moon was actually to repel the water instead of attracting it, and we are driven to ask whether this result can possibly be consistent with the theory of universal gravitation.“⁵

Allerdings erörtere Sir Darwin diese durchaus wichtige Bemerkung in seinem Werk nicht weiter. Er versuchte bekanntlich die Anomalie bzw. die problematische Prämisse in der Newtonschen Begründung des Gezeitenphänomens letztendlich dem Gesetz der Universalgravitation nicht entgegenzusetzen, sondern – stattdessen – sie unter ihm zu subsumieren.⁶

Wie bereits erwähnt, ist es das jahrhundertlang tradierte Musterbild des Gezeitenphänomens, das die Newtonsche Erklärung (des Gezeitenphänomens) historisch etablierte. Natürlich läuft eine derartige bildliche Paradigmatisierung – gegenüber der rein verbalen Erklärung – immer Gefahr, die ursprünglichen Ungereimtheiten oder die unterdrückten Anomalien unsichtbar zu lassen. Dagegen scheint die Sprache die Marginalisierung oder die vollkommene Unterdrückung wichtiger Prämissen anhand semantischer Verschleierung, Überbetonung, strategischer Andeutung oder sogar durch bloßes Schweigen besser zu leisten. Das wissenschaftliche Bild, besonders wenn es sich auf die himmelsmechanischen Phänomene und ihre Strukturen bezieht, ist primär eine produktive Einbildung, die bildliche Prämissen zur Verfügung hat. In dem oben erörterten Fall erweist sich eine wichtige bildliche Prämisse als falsch. Allerdings könnten verschiedene Weltbilder aus verschiedenen Bildprämissen – die alle zwar korrekt sein mögen, aber die zugunsten der sich etablierenden Paradigmen *bevorzugt* werden – zustande kommen.

⁵ Darwin, George Howard Sir: The Tides, Lectures delivered in 1897 at the Lowell Institute, Boston, Massachusetts, The Riverside Press, Cambridge MA 1899, S. 161-162. Vgl auch Brownlie, Alexander: The Science of the Tides. A Study in Physical Geography, Journal of the American Geographical Society of New York, Vol. 32, No. 5 (1900), S. 471.

⁶ Brownlie, a.a.O., S. 471, Darwin, a.a.O., S. 250.

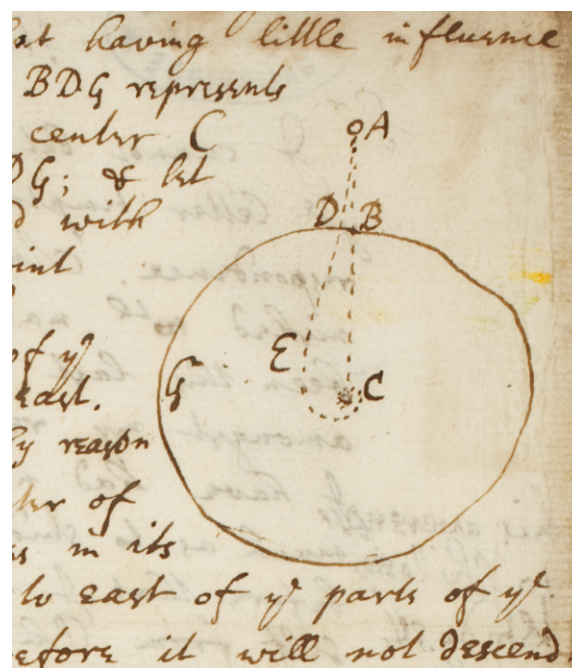
Die Priorisierung bildlicher Prämissen

In der Wissenschaft der Mechanik entstehen Bilder, wenn mechanische Phänomene geometrisch dargestellt werden. Bei der anfänglichen geometrischen Axiomatisierung werden den mechanischen Phänomenen nicht reduzierbare Formhaftigkeit und Gesetzmäßigkeit verliehen, wie bereits erörtert wurde. Daraus ergeben sich die bildlichen Prämissen. Die Wissenschaft der Mechanik baut auf diesen Prämissen auf, wie Newtons *Principia* am ehesten darstellt. Bei der bildlich-axiomatischen Reduktion der mechanischen Basisphänomene, wie z. B. Gravitation oder Trägheit, wurden bestimmte Wesenszüge der mechanischen Phänomene zugunsten der Geometrisierung oder geometrischen *Verbildlichung* vereinzelt. Demnach zeigt das *dynamische* Bild der Trägheitsbewegungstendenz der Körper die Linearität und Gleichförmigkeit der Bewegung und das eher statische Bild der Gravitation – im Rahmen der Newtonschen Klassischen Mechanik – die zentripetal-vektorielle Struktur der Gravitationskraft. Bei weiteren theoretischen Deduktionen erweisen sich derartige bildliche Prämissen als maßgebend, indem sie das *intuitive* Verfahren der mechanischen Deduktionen von vornherein beeinflussen können. Geometrisch-mathematische Intuition und Deduktion bilden das demonstrative Instrumentarium – zur Axiomatisierung und Theoriebildung – in der *Principia*, was auch die scheinbare Abundanz der geometrischen Bilder in diesem Meisterwerk legitimiert. Aber im Kontext der frühneuzeitlichen Mechanischen Philosophie lässt sich die geometrische mit der mechanischen Intuition kaum gleichsetzen. Denn die Wissenschaft der Mechanik bezieht sich in erster Linie auf die mechanischen Phänomene, deren Intuitionen einen über die bloß apriorische Vorstellung hinausgehenden intuitiv-synthetischen Nexus mit den Phänomena voraussetzen. Wie vorher erörtert wurde, ist die Basis der mechanischen Intuitionen die Resonanz zwischen intuitiven und phänomenalen Strukturen, was deutlich in den zahlreichen Gedankenexperimenten im Rahmen der frühneuzeitlichen Mechanischen Philosophie – von Descartes, Kepler, Galileo, Newton, Hooke u. a. – zutage tritt.

Gerade in der *Art* der strukturellen Intuition mechanischer Phänomene lassen sich zwischen Newton und Hooke – zwei bedeutenden und zeitgenössischen Wissenschaftlern der Frühneuzeit, die in der Gründungsphase der Klassischen Mechanik entscheidend wirkten – gewisse Disparitäten nachweisen. Während Newton bei der Untersuchung der mechanischen Phänomene bekanntlich zu *vorrangigen* geometrisch-mathematischen Intuitionen neigte, tendierte Hooke immer wieder zu einer unmittelbaren Einbeziehung der mechanischen – insbesondere dynamischen – Phänomene in seiner Intuition, dargestellt durch seine

Gedankenexperimente und seine *charakteristische* Bevorzugung der empirisch-experimentellen Demonstrationen. In der berühmten Korrespondenz zwischen Hooke und Newton im Jahr 1679, in der über den Weg eines zum Zentrum der Erde fallenden Körpers spekuliert wurde, ist die grundlegende Disparität zwischen den intuitiven Vorstellungen bei Newton und Hooke deutlich zu erkennen. In seinem Brief an Newton (vom 28. November 1679) fragte Hooke, wie der Weg eines Körpers sei, der sich im freien Fall hin zum Zentrum der Erde bewegt. Newton antwortete anhand einer bildlichen Darstellung, in der ein wesentliches mechanisches Faktum, nämlich die Rotation der Erde, mitberücksichtigt und der (hypothetische) Weg des Körpers hin zum Erdzentrum in der Form einer Spirale gezeigt wurde (Figur 12).

In seiner Antwort auf den Lösungsvorschlag Newtons korrigierte Hooke dieses Bild Newtons; dies wird als eine der wichtigsten wissenschaftlichen Intuitionen in der Frühgeschichte der Klassischen Mechanik betrachtet. Hooke berücksichtigte in seiner intuitiven Vorstellung ein wichtiges mechanisches Faktum, das Newton zu übersehen schien, nämlich die hohe



Figur 12

(Mit freundlicher Genehmigung vom Wren Library am Trinity College,
University of Cambridge)

Geschwindigkeit des sich stetig beschleunigenden Körpers, während er sich im freien Fall dem Erdzentrum nähert. Die Beschleunigung – zusammen mit der kontinuierlichen Rotation der Erde – würde den Körper von einem direkten Sturz ins Erdzentrum (wie im Newtonschen Bild dargestellt ist) *bewahren*, infolgedessen sich der Körper sukzessiv um das Erdzentrum herum in einer elliptisch-spiralen Bahn bewegen würde, wie Hooke bildlich darstellte:

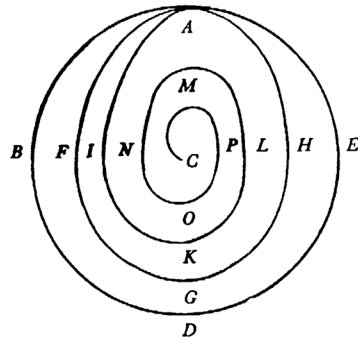


Figure 2: Hooke's diagram from his December 9, 1679 letter to Newton (Correspondence II, 305). The stone falling through the 'sliced' earth orbits center C in the ellipse AFGHA, unless it is impeded by a medium.

Figur 13⁷

Newton erkannte sofort seinen Fehler, aber korrigierte bzw. verbesserte die Intuition Hookes in einem weiteren Bild (Figur 14):

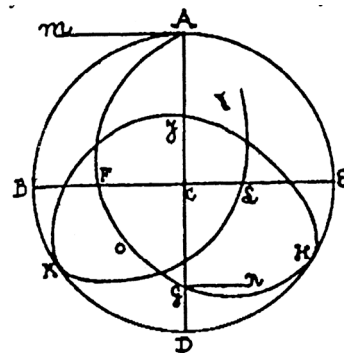
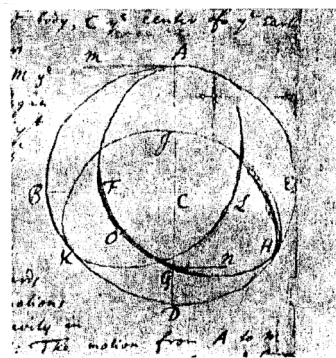


Figure 3: Newton's diagram from his December 13, 1679 letter to Hooke (the original, on the left, from Lohne, "Hooke versus Newton," 27; transcription, on the right, from Pelseneer, 244). The stone falling through the earth from A along FOG etc. changes its apsides with every orbit.

Figur 14⁸

⁷ Vgl. Gal, Ofer: Meanest Foundations and Nobler Superstructures. Hooke, Newton and the "Compounding of the Celestial Motions of the Planets", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2002, S. 6.

⁸ Ebd., S. 7.

Diese Korrespondenz zählt zu den wichtigsten Ereignissen der Entwicklungsgeschichte der Klassischen Mechanik, denn sie veranlasste Newton dazu, die *Principia* zu verfassen. Die grundlegende Differenz zwischen den bildlichen Intuitionen von Hooke und Newton besteht darin, dass Newton eine wichtige mechanische Grundlage übersah, wogegen Hooke sich in seiner Intuition darauf fokussierte. War es nur ein Zufall, dass Newton dies übersehen hatte? Newton schien in seiner ursprünglichen Intuition durch ein bereits von ihm vorgestelltes geometrisches Modell, nämlich der vektoriell-zentripetalen Struktur der Gravitation, beeinflusst worden zu sein. Die Priorisierung dieses *hauptsächlich* geometrischen Modells schien auch durch die Grundvorstellung von der Vorrangigkeit der Geometrie vor der Mechanik, die in der Frühneuzeit fast dogmatisch vorherrschte, stillschweigend vorausgesetzt zu werden. Robert Hooke, der in seiner Naturphilosophie auf die experimentellen Demonstrationen Wert legte, tendierte allem Anschein nach zu einer wesentlich anderen Art der Intuition, indem er nicht lediglich von einer vorgegebenen und demnach bevorzugten Struktur der Gravitation ausging, sondern sich eher in den fallenden Körper hineinzudenken versuchte.

Die Priorisierung der geometrisch-bildlichen Prämissen bei Newton und deren problematische Folgen sind in einem anderen Fall, dargestellt in der *Principia*, noch deutlicher nachzuweisen. Die *Principia* wurde ursprünglich als die geometrisch-mathematische Demonstrierung der Keplerschen Gesetze konzipiert. Die zwei wichtigen anfänglichen Beweisführungen in der *Principia*, die ihr Leitmotiv, nämlich die Etablierung der geometrisch-mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie, definierten und demnach der Newtonschen Himmelsmechanik als Propädeutik dienten, waren die Demonstrationen der Keplerschen Gesetze der Elliptizität der Planetenbahnen und des Flächensatzes der (elliptischen) Planetenbewegung. Kepler konnte bekanntlich zu diesen bedeutendsten und propädeutischen Gesetzen der Klassischen Himmelsmechanik keine hinreichenden geometrisch-mathematischen Beweise liefern; er schien sie aus der von Tycho Brahe überlieferten empirisch beobachteten Daten der Marsbewegung *intuitiv* abgeleitet zu haben. Daher hielt Newton diese Keplerschen Gesetze für bloße Vermutungen („Guesses“)⁹ und erhob dabei

⁹ Vgl. dazu Aiton, E. J: The Elliptical Orbit and the Area Law, aus: *Kepler. Four Hundred Years*, hrsg. von Arthur Beer, Oxford 1975, S. 573. „According to Newton, Kepler knew the orbit to be non-circular and guessed it to be elliptical. Many commentators have supposed, wrongly, that Kepler’s demonstration of the area law was based on cancelling errors, while Arthur Koestler, whose recognition of Kepler’s genius is not in doubt, has described the discovery of this law as the most amazing sleepwalking performance in the history of science.“ Vgl. auch Thaliath, Babu: *Natur und Struktur der Kräfte*, Würzburg 2010, S. 39-40.

stillschweigend den Anspruch auf seinen entdeckenden Status, weil er diese Gesetze geometrisch-mathematisch demonstrieren konnte.

Die geometrisch-mathematischen Demonstrationen der Gesetze der Elliptizität und des Flächensatzes der Planetenbewegung, sowie der *Inverse-Square Law* der Gravitation in der *Principia* sind die meist diskutierten und gepriesenen Leistungen Newtons; sie werden bis heute als angemessene Belege für die Authentizität der Newtonschen Demonstrationen betrachtet – gegenüber den lediglich intuitiven Vorstellungen von Kepler sowie von Hooke.¹⁰ Allerdings fehlt beiden Demonstrationen Newtons ein wichtiges Faktum, auf dem die Keplerschen Gesetze aufgebaut sind; nämlich die Spezifität der *elliptischen* Form der Planetenbahnen:

“Newton’s *Principia* is, in a sense, a more Keplerian book than he was aware. One way to discern this feature of the *Principia* is to examine the relation between the first and second of Kepler’s laws as treated by Newton. I well remember how puzzled I was, when – as a graduate student, soon after I had made a shift in speciality from physics and astronomy to history of science – I was asked by a scientific colleague if Kepler could possibly have found the law of areas before the law of elliptical orbits. Like others who had not done any direct research on the question at that time, I had assumed that what we call Kepler’s first law preceded what we call the second law in both a chronological and logical sequence. After plotting a number of Mars’s positions in place, I had supposed, Kepler then found the curve that gave the best fit, and so introduced the elliptiform path. Next, in order to

¹⁰ Die Zusammenwirkung der zentripetalen (solaren) Gravitation mit der linear-tangentialen Bewegungstendenz der Planeten, woraus sich die kurvigen Planetenbahnen ergeben, und die die wichtigste Prämisse in der newtonschen Demonstration des Keplerschen Flächensatzes und der *Inverse-Square Law* der Gravitation bildete, wurde ursprünglich von Hooke vorgestellt, wie es in der oben erörterten Korrespondenz zwischen Hooke und Newton zum Ausdruck kam. In seiner Abhandlung „Hooke and the law of universal gravitation“ zitiert Richard S. Westfall aus einer Rede von Hooke beim Royal Society, in der die Zusammenwirkung von zentripetaler Gravitation und der linear-tangentialen Trägheitsbewegungstendenz der Planeten erklärt wurde: „This depends upon three suppositions. First, That all Coelestial Bodies whatsoever, have an attraction or gravitating power towards their own Centers, whereby they attract not only their own parts, and keep them flying from them, as we may observe the earth to do, but that they do also attract all the other Coelestial Bodies that are within the sphere of their activity; and consequently that not only the Sun and the Moon have an influence upon the body and motion of the Earth, and the Earth upon them, but that ♀ also ☿, ♀, ♀, ♀, and ♀ by their attractive powers, have a considerable influence upon its motion as in the same manner the corresponding attractive power of the Earth hath a considerable influence upon every one of their motions also. The second supposition is this, That all bodies whatsoever that are put into a direct and simple motion, will so continue to move forward in a straight line, till they are by some other effectual powers deflected and bent into a Motion, describing a Circle, Ellipsis, or some other more compounded Curve Line. The third supposition is this, that these attractive powers are so much the more powerful in operating, by how much the nearer the body wrought upon is to their own Centers. Now what these several degrees are I have not yet experimentally verified; but it is a notion, which if fully prosecuted as it ought to be, will mightily assist the Astronomer to reduce all the Coelestial Motions to a certain rule, which I doubt will never be done true with it. He that understands the nature of the Circular Pendulum and Circular Motion, will easily understand the whole ground of this Principle, and will know where to find direction in Nature for the true stating thereof.“ Vgl. Westfall, Richard S.: Hooke and the Law of Universal Gravitation, The British Journal for the History of Science, Band Vol. 3, Cambridge 1967, S. 247 (Hooke, *Lectiones Cutlerianae*; facsimile reproduction in Gunther, *Early Science in Oxford*, viii, 27-28).

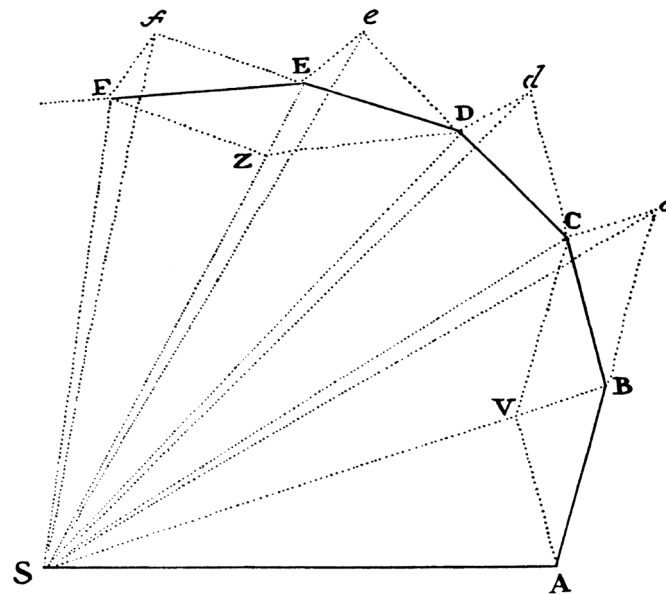
regularize the changing orbital speed, he would have hit upon the area law by slicing up the orbit in various ways. Those who have studied this topic know better of course. Kepler first found a general area law, using certain principles of force and motion in relation to the Sun's influence on the planets, and he then applied the general law to discover the actual shape of the orbit. Indeed, this is the sense in which Kepler described his 'new astronomy' as a 'celestial physics' based on 'causes'. Unlike Ptolemy or Copernicus, he was not merely tracing out geometric patterns that would result from one form or another of a heliostatic or geostatic model, but was rather deducing the shape of the orbit and the law of orbital speed from physical considerations of the nature of the solar force. [...]

Once I had grasped this sequence in Kepler's development of the first two laws of planetary motion, I recognized the existence of a Keplerian logic in Newton's *Principia*. For Newton too begins with the law of areas in general, and only then proceeds to the shape of the orbit. The beginning propositions of Book I are devoted to the area law without reference to any particular shape of orbit. First Newton shows that whenever a body moves freely without any external force acting (so that its motion is purely inertial or uniformly rectilinear), a radius vector drawn from the body to any point on the line of the motion will sweep equal areas in equal times. Next he shows that if there is a force acting on a body with an initial component of inertial motion, then the law of areas is a necessary and sufficient condition that this force is directed towards a center, towards the point with regard to which the equal areas are reckoned. Thus was revealed for the first time the physical or causal significance of area law in relation to the law of linear inertia and the concept of a centripetal force.¹¹

Hier verweist Bernard Cohen auf eine gewisse Analogie zwischen der Keplerschen und der Newtonschen *Ableitung* der Elliptizität der Planetenbahnen. Beide beginnen mit einer wissenschaftlichen Demonstration des Flächensatzes (indem zunächst bestimmte mechanische und geometrisch-mathematische Prämissen identifiziert und daraus Gesetze entwickelt werden) und dann erst versuchen, *daraus* die Form der Planetenbahn abzuleiten. Der Hauptunterschied zwischen der Keplerschen und der Newtonschen Methode der Beweisführung des Flächensatzes liegt aber in der Identifizierung der mechanischen und geometrisch-mathematischen Prämissen selbst. Newton identifizierte zunächst die sichersten geometrischen und mechanischen Prämissen, nämlich der *rein geometrische* Flächensatz des Dreiecks, die *mechanische* Gleichförmigkeit der Trägheitsbewegung, die geometrisch-mechanische Prämisse der zentripetalen Gravitation sowie das geometrisch-mathematische Parallelogramm-Gesetz. Aus diesen Prämissen entwickelte Newton seine Demonstration des Flächensatzes. Die folgende Figur aus der *Principia* stellt die hervorragende Synthese dieser Prämissen in einem intuitiv-deduktiven Verfahren der Beweisführung des Flächensatzes dar. Diese bildlich-synthetische Intuition zählt zu den treffendsten Beispielen für die geometrisch-

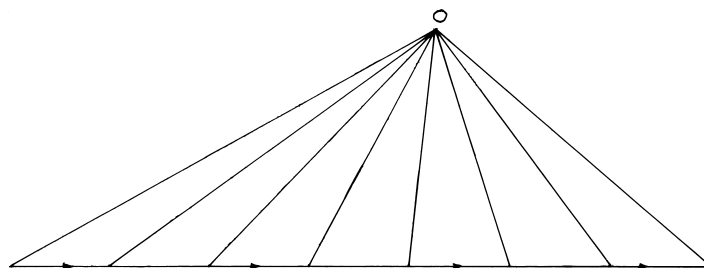
¹¹ Cohen, Bernard: Kepler's century: Prelude to Newton's, aus: *Kepler. Four Hundred Years*, hrsg. von Arthus Beer, Oxford 1975, S. 15-16.

mathematische Ingeniosität Newtons, in der er alle zeitgenössischen und vorherigen Wissenschaftler der Mechanik zu übertreffen schien:



Figur 15¹²

Eine der sichersten *mechanischen* Prämissen, die Newton bei dieser Demonstration zu priorisieren schien, ist das Prinzip der Trägheitsbewegung. Dieses dynamische Phänomen lässt sich leicht geometrisieren. Die bildlich-geometrische Intuition der Trägheitsbewegung ist eine *gleichförmig anwachsende* Linie, die ein Körper in seiner linearen und gleichförmigen Trägheitsbewegung bahnt. Auf dieser ursprünglichen und einfachen Intuition baute Newton seine Demonstrationen der Keplerschen Gesetze der Elliptizität der Planetenbahnen und des Flächensatzes der Planetenbewegung auf. Zunächst bestimmte Newton einen Punkt außerhalb der Bahn der Trägheitsbewegung und demonstrierte anhand des *geometrischen* Flächensatzes des Dreiecks, dass der Körper in seiner Trägheitsbewegung mit diesem externen Punkt gleiche Flächen in gleichen Intervallen durchstreicht, wie in Figur 16 dargestellt:



Figur 16

¹² Newton, Isaac: The Principia, übersetzt von I. Bernard Cohen und Anne Whitman, University of California Press, Berkeley 1999, S. 444-445.

Im nächsten Schritt wird an dem externen Punkt O eine zentripetale (gravitationelle) Kraft eingeführt. Newton zeigte anhand des bereits eingeführten Gesetzes der Trägheitsbewegung und des geometrischen Flächensatzes, sowie anhand der weiteren (geometrischen und mechanischen) Prinzipien, wie der zentripetal-gravitationellen Anziehung und des Parallelogramm-Gesetzes, dass der Körper unter der Zusammenwirkung seiner eigenen bzw. intrinsischen Trägheitsbewegungstendenz und der äußeren gravitationellen Anziehung auf kurvige Bahnen bewegt und dabei die Gesetzmäßigkeit des *ursprünglichen* Flächensatzes aufrechterhalten bzw. gleiche *Sektoren* in gleichen Intervallen durchstreichen wird, wie es in dem von Newton in der *Principia* dargestellten Bild demonstriert wurde (Fig. 15).

Es ist wichtig hier anzumerken, dass die ursprüngliche Prämisse (Fig. 16), obwohl sie sich auf ein mechanisches Phänomen, nämlich auf die lineare und gleichförmige Trägheitsbewegung bezieht, *hauptsächlich* ein geometrisches Bild ist. Das Geometrische an diesem Bild wird vor allem durch die Tatsache bestätigt, dass der Flächensatz, den Newton in diesem ursprünglichen Modell zu demonstrieren versuchte, ein rein geometrischer Flächensatz des Dreiecks ist. Die Darstellung der Trägheitsbewegung durch eine Linie, die in gleiche *Strecken* eingeteilt ist, basiert auf einer ursprünglichen Korrelation zwischen der geometrischen und der mechanischen Formhaftigkeit der Trägheitsbewegung, die im Grunde ein mechanisches Phänomen ist. Durch seine brillante Intuition erweiterte Newton diese Korrelation auf einen Flächensatz der Trägheitsbewegung. Allerdings war diese Erweiterung eher eine geometrische als eine mechanische. Indem Newton keine zentripetale Gravitationskraft im externen Punkt (O) einführte, blieb dieses anfängliche Modell eine hauptsächlich geometrisch-bildliche Prämisse. Basierend auf dieser Prämisse, vermochte es Newton allerdings nicht, eine Spezifität der *elliptischen* Planetenbahnen sowie die des Flächensatzes der *elliptischen* Planetenbewegung (auf die die Keplerschen Gesetze verweisen) zu demonstrieren:

„Thus was revealed for the first time the physical or causal significance of the area law in relation to the law of linear inertia and the concept of a centripetal force. It is only in the next section of *Principia*, in Prop. II, that Newton precedes to the actual shape of the orbit. He proves that if the orbit of a moving body is elliptical, the centripetal force directed towards a focus must vary inversely as the square of the distance. Succeeding propositions demonstrate that in a parabolic or a hyperbolic orbit, the same law of force will obtain. [...] Newton proved, in other words, that a planet (considered as a point mass) moving about a center of force (which could be at rest or in motion) in any one of the conic sections, according to the law of areas, would be combining an inertial motion with the continued accelerative effects of a central force varying inversely as the square of the distance. The converse case, also explored by Newton, namely, the orbit produced by a central force (varying

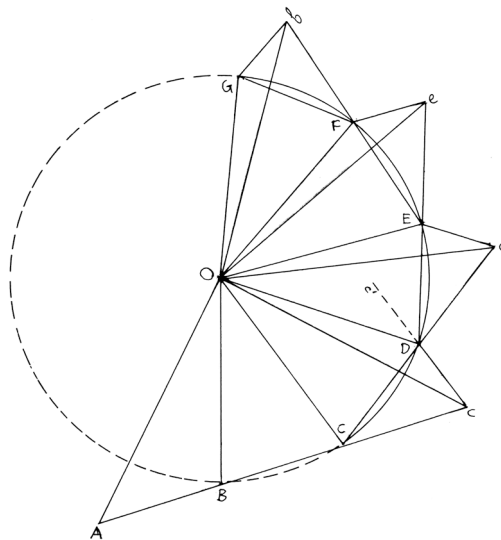
inversely as the square of the distance) acting continuously on a body with an initial component of inertial motion, did not yield a unique answer unless a further specification of the initial conditions was made; the orbit could be any one of the conic sections, ellipse or parabola or hyperbola, or even a circle or a straight line.“¹³

Dieser Betrachtung Cohens ist zu entnehmen, dass es weitere anfängliche Bedingungen – als Prämissen – geben musste, damit die Newtonsche Demonstration die Spezifität der elliptischen Form der Planetenbahn und des darauf bezogenen Gesetzes, nämlich der Inverse-Square Law der Gravitation, erlangen konnte. Welche sind nun diese zu berücksichtigenden Anfangsbedingungen, auf die Cohen verweist? Sie sind, zusätzlich zu den bereits in der Newtonschen Demonstration gegebenen geometrischen und mechanischen Prämissen wie der Trägheitsbewegungstendenz der Planeten und der zentripetalen (und der Inverse-Square Law unterworfenen) Gravitation andere, *in erster Linie mechanische* Prämissen, wie die Masse des Planeten, seine Geschwindigkeit und Distanz, wenn er sich *ganz am Anfang* der Sonne näherte, die Richtung des *ursprünglichen linearen Weges* des Planeten (als er zum ersten Mal zur Sonne kam) und die Stärke und Intensitätsvariation der Gravitationskraft, die auch von den oben genannten mechanischen Prämissen abhängig sind. Allerdings lassen sich diese weiteren Prämissen im *gegebenen gegenwärtigen* Zustand der elliptischen Bewegung des Planeten kaum vollständig fixieren; sie verweisen auf eine gewisse Historizität der Entwicklung des Sonnensystems. Das ursprünglich-spekulative *Szenario* dieser Entwicklungsgeschichte bestünde aus einer einsamen Sonne, zu der dann die verschiedenen Planeten aus weit entfernten Regionen *hingewandert* wären. Gemäß den oben erwähnten Anfangsbedingungen entstünden verschiedene Formen der geschlossenen aber auch der offenen kurvigen Planetenbahnen; manche Planeten begannen sich die Sonne auf verschiedenen Bahnen zu umkreisen und manche könnten sich von der solaren Anziehungskraft bewahren.

Auch wenn wir im Rahmen der Newtonsch-Klassischen Himmelsmechanik dem Sonnensystem einen derartigen Anfang zubilligen würden, würde uns der Vorrang der *geometrischen* Bildlichkeit über die *rein mechanische* Phänomenalität große Schwierigkeiten bereiten, um zur Spezifität der mechanischen Inverse-Square Law der Gravitation hinzugelangen. Bei der in Figur 15 abgebildeten Darstellung aus der *Principia* ist das sukzessive gravitationelle Fallen eines Planeten zum Gravitationszentrum hin, dargestellt durch die Linien cC, dD, eE usw., das entscheidende Faktum, das die Form der Planetenbahn bestimmt. Aber dieses sukzessive Fallen (das in der Newtonschen Demonstration durch das

¹³ Cohen, Bernard, a. a. O., S. 16, 32.

Prinzip der Infinitesimalrechnung unendlich verkleinert und dadurch in eine kontinuierliche Kurve integriert wurde) ist nicht nur von der Gravitationskraft und ihrer Gesetzmäßigkeit (bzw. ihrer zentripetalen Verminderung gemäß der Inverse-Square Law), sondern auch von den oben erwähnten Anfangsbedingungen mitbestimmt. Falls durch alle Anfangsbedingungen das sukzessive gravitationelle Fallen – zwar in einem idealen Zustand – *gleich* wird, d. h. wenn ein Planet bei seinem allerersten Umkreisen der Sonne sukzessiv zu den von der Sonne *radial* gleich entfernten Punkten hin fällt, entsteht *notwendigerweise* eine kreisförmige Planetenbahn *unabhängig von der gesetzmäßigen Variation der Gravitation* – gemäß einer Inverse-Squire-, Inverse-Cube- oder einer reinen Inverse-Law. D. h. dass ein derartiger Anfangszustand bei der Entstehung der planetarischen Kreisbahn die in der *Principia* betonte *Spezifizität* der Inverse-Square-Law der Gravitation im Sonnensystem invalidieren würde. Figur 17 stellt diesen *idealen* Anfangszustand der Planetenbewegung auf einer kreisförmigen Bahn dar.



Figur 17

Diese *mögliche* Darstellung, die sich aus der Newtonschen Demonstration (Fig. 15) selbst entwickeln lässt (indem wir die Anfangsbedingungen, auf die Cohen verweist, mitberücksichtigen) besagt deutlich, dass die Priorisierung *geometrisch*-bildlicher Prämissen sowohl bei der anfänglichen Intuition als auch bei weiteren deduktiven Verfahren die Spezifität der mechanischen Axiome durchaus gefährden kann. Denn eine derartige Priorisierung geometrisch-bildlicher Phänomene kann auf Kosten einer angemessenen Mitberücksichtigung mechanischer Grundphänomene (die eigentlich die wichtigsten Prämissen in der Wissenschaft der Mechanik bilden) erfolgen. Allerdings ereignet sich die axiomatische Intuition mechanischer Phänomene im bildlichen Modus. D. h. hier handelt es sich um eine balancierte Mitberücksichtigung geometrisch-bildlicher und mechanisch-bildlicher Prämissen, die im Grunde miteinander korrelieren.

Es wäre kein leichtes Unterfangen, die geometrischen und die mechanischen Prämissen derart gleichzuberechnen. Denn die himmelsmechanischen Strukturen sind zum großen Teil *dynamische* Bewegungsstrukturen der Planeten und die anscheinend statischen Gravitationsstrukturen, die die planetarischen Bewegungen mitbestimmen. Die Flexibilität der Dynamik wirkt der Statik oder Starrheit der geometrischen Formen entgegen. Die Priorisierung geometrisch-bildlicher Prämissen (durch die die Wissenschaftler wie Newton auf die geometrisch-mathematische Gewissheit ihrer Methode und die – sich daraus ergebende – epistemologische Apodiktizität der himmelsmechanischen Phänomene abzielten) konnte daher jene unangemessene Axiomatisierung mechanischer Phänomene zur Folge haben. Ein anderes Beispiel dafür wäre der viel diskutierte Misserfolg Newtons, dass er die von Edmund Halley gestellte Problemstellung nicht hinreichend lösen konnte. Halley fragte nach der Form der Planetenbahn, die sich aus der Zusammenwirkung von zwei *mechanischen* Phänomenen, nämlich der Trägheitsbewegungstendenz der Planeten und der externen, sich gemäß der Inverse-Square-Law variierenden zentripetalen Anziehung der Gravitation, ergeben würde:

„In 1684 Dr. Halley came to visit him in Cambridge, after they had been some time together, the Dr. asked him what he thought the Curve would be that would be described by the Planets supposing the force of attraction towards the Sun to be reciprocal to the square of their distance from it.

Sir Isaac replied immediately that it would be an Ellipsis,
the Doctor struck with joy & amazement asked him how he knew it,
Why saith he I have calculated it,

Whereupon Dr. Halley asked him for his calculation without any further delay, Sir Isaac looked among his papers but could not find it, but he promised him to renew it, & then send it to him. [...]

Newton in fact did wait several months before keeping this promise. And in the end it was not a demonstration that Halley received, but a small treatise. [...] These are as yet very unrefined and simple versions of what will become the *Principia*. Newton corrected them, re-wrote them, amplified them, and inserted into them passages from others of his writings. [...]

Consider the question that Halley posed to Newton: assuming that the force varies as $1/r^2$, what will be the resulting trajectory? The *Principia* responds, in fact, to a different question: if the trajectory is an ellipse, what must be the law of the variation of the force? It is important not to confuse the two:

- A. Given the trajectory, how to find the law of force?
- B. Given the law of force, how to determine the trajectory?

The second question is called ‘the inverse problem’. Newton himself, in the *Principia*, does not always distinguish the two questions clearly. He sometimes evokes a response to question (A) as if it were a response to question (B).

The inverse problem, that is to say, the passage from the law of the force to the trajectory, is mathematically a much more difficult enterprise than the passage from the trajectory to the law of force. A known trajectory gives a geometrical representation of the situation from which reasoning is easier. If, on the contrary, only the law of force is known, the geometrical object must be constructed (whether in one step, or gradually in several).

In the *De motu* and in the *Principia*, Newton gives a detailed response to question (A). But it was the question (B) that Halley has posed. Did Newton believe he had solved the inverse problem? He was undoubtedly cognizant of the difference between a theorem and its converse (as, per example, in propositions 1 and 2 of the *Principia*).

Johann Bernoulli reproached him twenty-three years later with having supposed without demonstration that the trajectory must be a conic section.¹⁴

Die Frage Halleys bezog sich auf zwei mechanische Prämissen und eine geometrische Form, die sich aus diesen Prämissen ergeben hätte. Newton ging aber von dem Ergebnis aus, nämlich der *gegebenen* geometrischen Form der elliptischen Planetenbahn. Dies kann man als eine gewisse Priorisierung bildlicher Prämissen und ihrer geometrisch-mathematischen Finalität betrachten. Die Beweisführung des Flächensatzes in der *Principia* (dargestellt in Figur 15), in der Newton die mechanischen Prämissen mit geometrischen Formen und ihren Gesetzen *intuitiv* synthetisierte, verweist darauf, dass Newton – ebenso wie Bernoulli – durchaus imstande gewesen war, ausgehend von gegebenen mechanischen Prämissen, die geometrische Form der dynamischen Strukturen der Planetenbewegungen intuitiv zu entwickeln. Seine charakteristische Neigung zu geometrisch-mathematischen Demonstrationen, in der er von gegebenen geometrischen Formen ausging und mit ihnen operierte, hatte Newton scheinbar dazu veranlasst, zum Halleyschen Problem die Gegebenheit einer bildlichen Repräsentation als Prämisse zu bevorzugen. Auch spielte vielleicht eine gewisse wissenschaftliche Naivität eine Rolle, als Newton, nachdem er in seiner Beweisführung die in der Frage Halleys angegebene Ordnung der Prämissen und Schlussfolgerung umdrehte, das eigentliche Inverse-Problem mit einem „vice versa (et contra)“ hinreichend gelöst zu haben glaubte.¹⁵

Den Wissenschaftlern der frühneuzeitlichen Astronomie, die mit den überlieferten geometrischen Bildern der himmelsmechanischen Strukturen und mit den darin

¹⁴ Gandt, François de: Force and Geometry in Newton's *Principia*, Princeton University Press, New Jersey 1995, S. 7-8. Vgl. auch Lohne, Johannes: Hooke *versus* Newton, veröffentlicht in Centaurus (vol. 7), Kopenhagen 1960, S. 35-36. Zur Johann Bernoullis Beweisführung des *Inversen Zentralkraftproblems*, vgl. Ohly, Sibylle: Johann Bernoullis Mechanische Arbeiten 1690 bis 1713, Augsburg 2004, S. 400 ff. Vgl. auch Brackenridge, Bruce J.: The Key to Newton's Dynamics, University of California Press, Berkeley 1995, S. 69 ff.

¹⁵ Lohne, a.a.O.

demonstrierten geometrisch-mathematischen Gesetzen lange vertraut waren, fiel es tatsächlich schwer, die bildlich-geometrischen Prämissen durch rein mechanische Kraftprinzipien zu ersetzen. Ein treffendes Beispiel war Johannes Kepler selbst, der Begründer der modernen *physikalischen* Astronomie. Als überzeugter Platoniker und Erbe der Kopernikanischen *geometrischen* Astronomie weigerte sich Kepler, sich von den tradierten geometrisch-bildlichen Prämissen, nämlich den vollkommen kreisförmigen Planetenbahnen, der Zentriertheit der Sonne sowie der Gleichförmigkeit der planetarischen Kreisbewegungen, loszulösen, auch als er deutliche Anomalien im Kopernikanischen Weltbild zu entdecken begann. Kepler versuchte vergeblich, die beobachtete Exzentrizität der Sonne und die Abweichungen der Planeten von den Kreisbahnen zunächst durch Epizykel, die förmlich von dem Kreis kaum abweicht, darzustellen. Allerdings erwies sich diese Lösung als durchaus unzureichend, um die klaren Anomalien in der Marsbewegung, die sich aus den von Tycho Brahe überlieferten empirischen Daten der Marspositionen ableiten ließen, zu erklären. Schließlich nahm Kepler ein für allemal von der tradierten geometrischen Astronomie, in der er geschult war, Abschied und ersetzte sie durch eine physikalische Astronomie, in der die astronomischen Phänomene auf physikalischen Kraftprinzipien kausal zurückgeführt wurden. Dieser historische Übergang hatte eine vollkommene Umstrukturierung des tradierten Kopernikanischen Weltbildes zur Folge; an Stelle der vollkommenen und einheitlichen Kreisbahnen trat eine Vielfalt von elliptischen Planetenbahnen, die Positionierung der Sonne wurde nicht mehr zentrisch, sondern exzentrisch bzw. in einer der Fokusse der elliptischen Planetenbahnen identifiziert. Schließlich wurde die Gleichförmigkeit der Planetenbewegungen durch die periodische Beschleunigung und Verlangsamung der Planeten zwischen Aphel und Perihel auf der elliptischen Bahn korrigiert bzw. ersetzt:

„Meanwhile one problem in his celestial dynamics remained to be solved. What causes a planet's distance from the sun to vary? Kepler's pursuit of the issue led him ever further from the circular orbit. The astronomical tradition presented an obvious answer to the variation of distance – an epicycle turning on the basic deferent. It is testimony to the power that the tradition of circles exercised over Kepler that he attempted initially to explain the variation by an epicycle. An epicyclic mechanism affronted his sense of physical reality, however. A planet would need intelligence to turn in an epicycle around a moving point not occupied by a body. When he returned to the consideration of Mars, he discovered that when he used an ellipse to approximate the orbit, which he now assumed to be oval, the radius vector varied in length according to a uniform sine function. The uniform variation suggested a purely physical action which required no supervisory intelligence. The mechanism of epicycles could be rejected at last, once and for all. He perceived it, Kepler said, “as one aroused from sleep who gazed with astonishment on a new light.” Kepler ultimately decided that a magnetic action from the sun attracts a planet during half of its orbit while one pole is presented to the sun and repels it during the second half while the

other pole is presented. [...] Meanwhile the hold of the circle had been broken, and Kepler went on to conclude that the orbit does more than approximate an ellipse. It is an ellipse at one focus of which the sun is located – a conclusion we call his first law of planetary motion. [...] All the complexity of eccentrics and epicycles had been swallowed up in the simplicity of the ellipse. The bait concealed a hook, of course. The cost of accepting the ellipse's simplicity was the abandonment of the circle, with all its ancient connotations of perfection, immutability, and order. Only by degrees and then only imperfectly had Kepler freed himself from the circle's power over his imagination, and he never forgot what its attractions were. The chief value of the second law, in his eye, was the new uniformity it offered to replace that of circular motion. To a friend who protested against the ellipse, he described the circle as a voluptuous whore enticing astronomers away from the honest maiden nature. His master, Copernicus, had preferred the jade. If it is true to say that Kepler perfected Copernican astronomy, it is equally true to say that he destroyed it.”¹⁶

Durch seine empirische Entdeckung der elliptischen Planetenbahnen und der periodischen Variationen der Planetengeschwindigkeit, sowie der Planetenlibration – gegenüber der Position der Sonne – wich Kepler von einigen wichtigen Grundlagen der tradierten Kopernikanischen Astronomie entscheidend ab. Diese bestanden nämlich aus der *konzentrischen* Position der Sonne (in einem einheitlichen Zentrum aller kreisförmigen Planetenbahnen im Sonnensystem), kreisförmigen Planetenbahnen und der Gleichförmigkeit der kreisförmigen Planetenbewegungen. Alle diesen Grundlagen oder Prämissen der Kopernikanischen Astronomie hatten einen Wesenszug gemeinsam, nämlich die Einmaligkeit und Finalität der geometrischen und mechanischen Grenzformen, die sowohl in der geometrisch-bildlichen Statik – in Form der konzentrisch-kreisförmigen Planetenbahnen – als auch in der mechanisch-bildlichen Dynamik – als gleichförmige Kreisbewegungen der Planeten – zum Ausdruck kamen. In anderen Worten: das Kopernikanische Bild des Kosmos bestand aus geometrischen und mechanischen Grenzformen, die als solche keine *förmlichen Variationen* aufweisen. Gerade diese Einmaligkeit und Finalität der kosmologischen Strukturen wurden durch die Keplersche Astronomie dekonstruiert. An Stelle der einmaligen bzw. invariablen Kreisform trat eine grenzenlose Vielfalt elliptischer Formen der Planetenbahnen; die Sonne wurde von einer konzentrischen zu einer exzentrischen Position – zu einem der beiden Fokusse der elliptischen Planetenbahn – geschoben und die Gleichförmigkeit der Kreisbewegungen der Planeten wurde durch die periodischen Variationen der Planetengeschwindigkeit (zwischen Aphel und Perihel der elliptischen Planetenbahn) ersetzt.

¹⁶ Westfall, Richard S.: The Construction of Modern Science, New York 1971, S. 11-12.

Die Abweichung vom Kopernikanischen Weltbild war bei Kepler zugleich ein Abschied von der Vorbestimmung bzw. Präformation aller geometrisch- und mechanisch-bildlichen Prämissen, auf denen die Kopernikanische Astronomie basierte. Bei der Identifizierung der kosmologischen Prämissen wechselte Kepler von der bloßen Annahme der *vorgegebenen* starren geometrisch-mechanischen Bilder hin zur *Dynamik* der Kraftphänomene, die die planetarischen Bewegungsstrukturen *erzeugen*.¹⁷ D. h. bei Kepler schien sich eine fundamentale dynamisch-strukturelle Intuition der kosmologischen Kraftprinzipien als Ausgangspunkt seiner kosmologischen Untersuchungen etabliert zu haben. Aus dieser prozessualen Intuition entstanden Bilder der kosmologischen Strukturen bzw. der elliptischen Planetenbewegungen, die gegenüber den kreis- und gleichförmigen Planetenbewegungen im Kopernikanischen Weltbild keine finale geometrisch-mechanische Formhaftigkeit besaßen. Allerdings hatte die Ersetzung der bloßen Gegebenheit der vollkommenen geometrisch-mechanischen Bildprämissen (in der Kopernikanischen Astronomie) durch die Priorisierung mechanischer Kraftprinzipien ihren eigenen Preis; in seiner Intuition der elliptischen Planetenbewegungen *sah* Kepler, dass ein wesentliches Kraftprinzip, das die planetarischen Librationen bzw. Abweichungen von der vollkommenen Kreisbewegung zustande zu bringen schien, als ein unbegründetes Faktum übrig blieb.¹⁸ Dieses Kraftprinzip, das den Planeten

¹⁷ Vgl. Koyré, Alexander: *The Astronomical Revolution. Copernicus – Kepler – Borelli*, übersetzt von Dr. R. E. W. Maddison F. S. A., Paris 1973, S. 197-198. „He raised the necessity for a dynamical explanation in order to deduce therefrom the mathematical law of planetary motions, and the form of the equations governing these motions. Now, this law (velocity is inversely proportional to the distance) is the only definite piece of information; and the dynamical explanation, which should serve as its basis, does no more than agree with it, and therefore is dependent on it. Strictly speaking, the dynamical explanation seems to be quite unnecessary. Furthermore, in Kepler’s chain of reasoning, which led to the law of areas from the law of velocities, the nature of the force does not even appear as a middle term.

Why, then, did Kepler place so much value on it? And why did he spend so much time on it? I feel that the answer can only be found in Kepler’s fundamental aversion from any purely formal (positivist) attitude involving calculation. As I have said many times, in his case it was not a matter of knowing how to compute and predict the positions and motions of the planets, but of revealing the true structure of the Universe, and the true motions of celestial bodies by providing in addition a causal and (archetypical) explanation.“

¹⁸ Koyré, a.a.O., S. 215-216. „The mechanism of planetary motion seemed therefore to be definitely established, but a fresh difficulty immediately arose. In fact, the planets being subjected to the *raptus* of the solar whirlwind – and to it alone – ought to describe concentric orbits about the central body, and their motion in these orbits ought to be perfectly uniform. The ‘force’ emanating from the Sun (or from the Earth), whether it be considered after the manner of light or of magnetic force, is a purely motive one; it produces forward movement; it does not attract, nor does it repel. Consequently, the planets in their motion, should have no reason to approach the Sun (which does not attract them, as the Earth does the Moon); nor should they have reason to move away from it – in Kepler’s universe the circular motion of celestial bodies does not develop centrifugal force; so they would revolve eternally at the same distance from their motive source, which acting in a uniform and constant manner – the supreme rule in celestial mechanics was that the revolution of the Sun, and hence its *species*, takes place in a uniform and constant manner – would confer on them likewise a uniform and constant motion. Now, we know that this is not the case. Therefore, in order to explain their true motions, it becomes necessary, in addition to having the common solar motive force, to endow each planet with its own individual motive force whose action accounts for the eccentricity of the orbits, and, at the same time, the exact non-uniformity of the motions round the Sun.

inhärent ist, versuchte Kepler vergeblich durch seine Vorstellung von der *vis insita* zu erklären und zu legitimieren.¹⁹ Gelegentlich nahm diese Vorstellung bei Kepler den Zug einer den Planeten inhärenten *animalischen* Kraft an, was den Richtlinien der vorherrschenden Mechanischen Philosophie der Frühneuzeit widersprach. Allerdings blieb Kepler auch bei einem derartigen Lösungsversuch hin- und hergerissen zwischen der rein mechanischen und dieser tendenziell *animalischen* Begründung der Eigenschaft der Planeten, die ihre Libration zustande bringt:

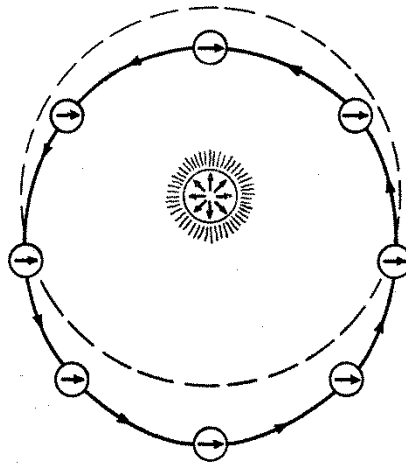
„The more Kepler contemplated the dynamics of planetary motion, the more it recalled the basic notions of the lever. The farther a planet was removed from the sun, the less the power of the sun was able to move it. When the concept of a power radiating out from the sun first appeared in the *Mysterium Cosmographicum*, Kepler called it an “*anima motrix*,” a “motive soul,” a phrase redolent of animistic connotations. In 1621, as he prepared a second edition of the *Mysterium*, he added a footnote: “If you substitute the word ‘force’ [*vis*] for the word ‘soul’ [*anima*], you have the very principle on which the celestial physics in the *Commentary on Mars* [*Astronomia Nova*] is based. For I formerly believed completely that the cause moving the planets is a soul, having indeed been imbued with the teaching of J. C. Scaliger on motive intelligences. But when I recognized that this motive cause grows weaker as the distance from the sun increases, just as the light of the sun is attenuated, I concluded that this force must be as it were corporeal.” From *anima motrix* to *vis*, from the animistic to the mechanistic – the development in Kepler’s thought foreshadowed the course of 17th century science.”²⁰

Die Zögerung Keplers, sich von der tradierten Vorstellung der perfekten Kreisbahnen loszulösen, belegt auch seine Tendenz zur Priorisierung geometrisch-bildlicher Prämissen, was auch seinem Platonismus, dargestellt in seiner Grundvorstellung von der kosmologischen Harmonie und ihrer geometrisch-mathematischen Gesetzmäßigkeit, von vornherein entspricht. Die von Kepler vorgestellte epyzyklische Libration der Planeten basierte ursprünglich auf einem Bild der vollkommenen Kreisbahn, wie Figur 18 darstellt:

However, we must not anticipate, but must follow the progression of Kepler’s thought: *„Apart from the common motive force, the planets are endowed with their own individual force; and the motion of each of them is compounded of two causes.”* Up to now, the motive force of the Sun has been [regarded as] uniform, and only having varying degrees of strength according to the amplitude of the different circles. Consequently, the planet, if it remained at the same distance from the Sun, would revolve round it in a very uniform [manner], and would not experience any increase, or decrease from the motion of the Sun. If, however, a certain inequality be observed in the operation of this force, it results from the fact that the planet is moved from a given distance from the Sun to some other; consequently, it is exposed to the action of different degrees of strength of the force [emanating] from the Sun. We then ask ourselves, what is the reason that the planet moves nearer to, or away from, the Sun? seeing that the solid spheres have no existence, as was shown by Tycho Brahe. Is this result also produced by the Sun? I say that the Sun is in some measure responsible; but there are other causes too.“

¹⁹ Ebd., S. 220.

²⁰ Westfall, *The Construction of Modern Science*, S. 9-10.



Figur 18²¹

Allerdings war diese bildliche Intuition aufgrund der Hinzufügung eines planetarischen Eigenprinzips, nämlich der wechselnden magnetischen Wirkung der Anziehung und des Abstoßes zwischen einem Planeten und der Sonne, dazu prädestiniert, sich zu einer elliptischen Form zu entfalten. Die Intuition der elliptischen Planetenbewegung war zwar wiederum eine geometrisch-bildliche Intuition, aber sie konnte die Einmaligkeit, Vollkommenheit und Finalität der kreis- und gleichförmigen Planetenbewegungen kaum beanspruchen. Denn sowohl die intuitive Vorstellung, als auch die geometrisch-mathematische Deduktion der elliptischen Planetenbahn erweist sich *gemäß der verschiedenen Anfangsbedingungen*, die aus Kraftprinzipien wie Gravitation und Trägheit und planetarischen Bewegungsumständen, wie Geschwindigkeit, Richtung und Distanz, bestehen, als durchaus vielfältig. D. h. sie erlangt die Einheit und Einmaligkeit einer perfekten bildlichen Prämisse – wie die Kreisbahn in der Ptolemäischen und Kopernikanischen Astronomie – nicht. Im Einzelnen ereignet sich die Intuition der himmelsmechanischen Kraftprinzipien wie der Gravitation oder der Trägheitsbewegungstendenz in vollkommenen und einheitlichen geometrischen Formen, nämlich in linearen Vektoren. Ihre Zusammenwirkung aber erzeugt eine Vielfalt von Bildern planetarischer Bewegungen.

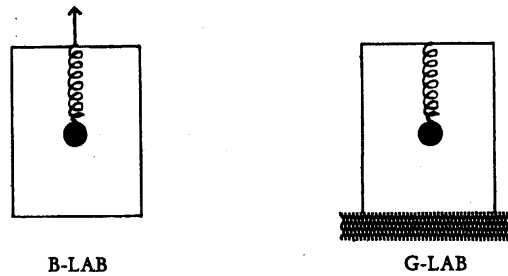
Die primäre Intuition der Kraftphänomene ist zwar eine bildliche Intuition, aber dasselbe Kraftphänomen kann unterschiedliche Bilder intuitiv entstehen lassen, deren Priorisierung möglicherweise einem existierenden wissenschaftlichen Paradigma unterworfen wird, oder ein neues Paradigma zustande bringt. Denn ein und dieselbe Kraft kann auf Körper verschiedenartig wirken, infolgedessen entstehen unterschiedliche phänomenale Strukturen. Die Bevorzugung einer bestimmten Struktur, in der die Wirkung der Kraft zutage tritt, hängt

²¹ Vgl. Kuhn, Thomas: The Copernican Revolution, Harvard University Press, Cambridge 1957, S. 246.

auch von anderen Fakten ab, wie den hintergründigen geometrischen Prinzipien, Raumtheorien etc., die tendenziell mit einem vorherrschenden wissenschaftlichen Paradigma übereinstimmen oder es zu verwerfen neigen. Ein treffendes und historisch bekanntes Beispiel ist die Einsteinsche Basisintuition der gravitationellen Krümmung des Raumes und ihr *paradigmatischer Kontrast* mit der Newtonschen Vorstellung von der rein zentripetalen Struktur der Gravitation. Bei Newton bildete bekanntlich die *Vertikalität* der gravitationellen Fallbewegung eines Körpers die ursprüngliche Erfahrung, aus dieser, und der vorgegebenen Vorstellung der Sphärizität der Erde entstand die Intuition der zentripetalen Struktur der Gravitation. Allerdings lag dieser Basisintuition Newtons offensichtlich die tradierte Euklidisch-synthetische Geometrie aber auch die – darauf aufgebaute – Kartesisch-analytische Geometrie zugrunde. Denn der *hintergründige* Raum, in dem Newton sich die Struktur der Universalgravitation intuitiv vorstellte, war seiner Natur nach Euklidisch und zugleich – aufgrund seiner Homogenität und seines Ausdehnungsmodus – Kartesisch. Die ursprüngliche Erfahrung oder Beobachtung, aus der sich Einstein seine Intuition der gravitationellen Krümmung des Raumes entwickelte, war auch eine gravitationelle Fallbewegung – allerdings kein rein vertikal-gravitationelles Fallen eines Körpers, sondern die Kurvierung eines Projektils bzw. die gravitationelle Krümmung der Bahn eines sich im Prinzip *horizontal* bewegenden Körpers. In dem bekannten Gedankenexperiment zur Demonstration des Äquivalenzprinzips versuchte Einstein eine Analogie zwischen einem *statischen* Laboratorium im Gravitationsfeld und einem sich bewegenden bzw. sich beschleunigenden Raum-Laboratorium. Das Prinzip der Äquivalenz zwischen der Gravitations- und Trägheitsmasse wurde *zunächst* durch das analoge *Gravitieren* eines Körpers im G-LAB und im R-LAB zu demonstrieren versucht:

„Betrachten wir nun einige Schlüsse, die Einstein 1907 und 1911 aus seinem Äquivalenzprinzip zog. Der Einfachheit halber werden wir dabei die Reihenfolge leicht verändern, der Klarheit wegen weiterhin von der Erde sprechen, wo Einstein sich etwas sorgfältiger ausdrückte, und um der Bequemlichkeit willen das beschleunigte Raum-Laboratorium *B-LAB*, das Laboratorium im Gravitationsfeld der Erde *G-LAB* nennen.

Man stelle sich zwei gleiche Klumpen Materie vor, die an zwei gleichen Federn, der eine im B-LAB, der andere im G-LAB, von der Decke hängen. Beide Federn werden dabei ausgedehnt; im B-LAB, weil die Trägheit des Klumpens der Beschleunigung widersteht, im G-LAB dagegen durch die Anziehung der Gravitation. Die beiden Federn werden in gleichem Ausmaße ausgedehnt, daher sind die Trägheits- und Gravitationsmassen der Klumpen gleich. Dies dürfte nicht überraschen, da eben das dem Äquivalenzprinzip zu Grunde lag.



Figur 19

Nehmen wir nun aber an, die beiden Klumpen absorbieren gleiche Mengen von Energie – z. B. aus Strahlung –, dann wird gemäß $E = mc^2$ jeder Klumpen an Masse zunehmen, und beide Federn werden sich zusätzlich um den gleichen Betrag ausdehnen – um den *gleichen* Betrag, weil nach dem Äquivalenzprinzip unter identischen Bedingungen im B-LAB und G-LAB das gleiche geschehen muss. Allerdings wird im B-LAB durch die zusätzliche Ausdehnung die Trägheitsmasse, im G-LAB dagegen die Gravitationsmasse gemessen. Und das bedeutet, dass auch die Energie gleiche Trägheits- und Gravitationsmassen haben muss, womit sich vor unseren Augen eine jener klaren, für Einstein so bezeichnenden Vereinheitlichungen herausbildet, zu der er die Mathematik kaum zu bemühen brauchte.

Ja, in diesen Arbeiten von 1907 und 1911 gelangt Einstein zu den wesentlichen Schlüssen meistens nur mit der elementarsten Mathematik, ein seltenes und glänzendes Beispiel reiner Intuition!²²

In dieser propädeutischen Beweisführung zum Äquivalenzprinzip, in dem die Gravitationsmasse mit der Trägheitsmasse *modal* gleichgesetzt wird, ging Einstein von den tradierten Newtonschen Grundlagen selbst aus, nämlich der *vertikalen* Anziehung der Gravitation und dem Trägheitsprinzip. Allerdings war diese hoch gepriesene Intuition des Äquivalenzprinzips von Einstein keine neue Entdeckung; das Prinzip der Äquivalenz zwischen der Gravitations- und der Trägheitsmasse war bereits in der Newtonschen Demonstration des Galiläischen Problems des freien Falls von Körpern mit verschiedener Masse implizit.²³

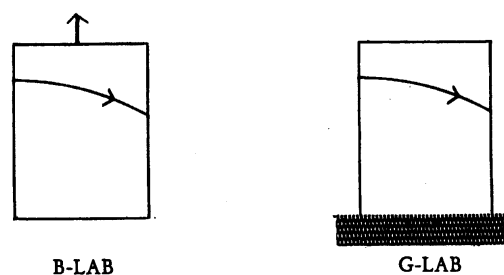
Newton vermochte es aber kaum, die beobachtete Äquivalenz zwischen Gravitations- und Trägheitsmasse über die angestrebte Erklärung des Galiläischen Problems hinaus zu einem *Strukturprinzip* der Gravitation zu entwickeln. Das oben beschriebene Gedankenexperiment Einsteins, das das Äquivalenzprinzip demonstrierte, sprengte den *Kontext* der Newtonschen

²² Hoffmann, Banesh: Albert Einstein. Schöpfer und Rebell, Zürich 1976, S. 129-131.

²³ Einstein entwickelte das Äquivalenzprinzip bekanntlich in einem Gedankenexperiment, indem er intuitiv wahrnehmen konnte, dass ein frei zur Erde fallender Mensch sein Eigengewicht nicht spürt. Denn sein gravitationelles Eigengewicht und die Trägheit seines Körpers, die durch die gravitationelle Beschleunigung beim freien Fall entsteht, gleichen sich hier aus. Dieses Gedankenexperiment ist der Newtonschen Beweisführung des Galiläischen Problems durchaus analog. Gegenstände verschiedener Massen fallen *gleichzeitig* zur Erde, weil die Unterschiede in der gravitationellen Anziehung durch die *äquivalenten* Unterschiede in der Trägheitsresistenz der Körper beim freien Fall ausgeglichen werden. Darin wurde deutlich eine modale Äquivalenz zwischen der Gravitation und der Trägheit angedeutet, indem beide der entgegengesetzten mechanischen Prinzipien gleichermaßen durch die Masse der Körper bestimmt werden.

Universalgravitation, deren Natur und Struktur der Anziehung man sich eher im statischen Modus vorgestellt hatte. Die Einführung der Dynamik, nämlich die Beschleunigung eines Raum-Laboratoriums (die den bloßen Effekt der Gravitation produziert), schien sich bei Einstein zu einem gewissen Leitmotiv zu entwickeln. Die in diesem ursprünglichen Gedankenexperiment demonstrierte *statische* Äquivalenz zwischen Gravitations- und Trägheitsmasse war bei Einstein nur ein anfängliches – und zwar propädeutisches – Model der Analogie. Als nächster Schritt wurde in diesem Basismodel seines Gedankenexperiments die *horizontale* Lichtbewegung eingeführt. Dadurch zielte Einstein in erster Linie auf die Demonstration der Äquivalenz zwischen den identischen Krümmungsphänomenen einer horizontal projizierten dynamisch-phänomenalen Struktur unter verschiedenen Kraftprinzipien ab:

„Verfolgen wir Einsteins Gedankengang weiter: Licht, in Form eines Strahles quer durch B-LAB gesandt, beugt sich in gerader Linie fort:



Figur 20

(und zwar im absoluten Raum – wir halten an unserem Bild fest). Durch die ›Aufwärts‹-Beschleunigung von B-LAB scheint sich der Strahl aber relativ zu B-LAB nach ›Abwärts‹ zu krümmen. Deshalb folgerte Einstein 1907, dass Licht, das in der Form eines Strahls quer durch G-LAB gesandt wird, dieselbe Krümmung aufweisen muss, d. h. *die Gravitation verursacht eine Krümmung von Lichtstrahlen*.²⁴

Die *strategische* Einführung der gravitationellen und inertialen Krümmung der Lichtbewegung in diesem Gedankenexperiment verweist auf einen tendenziellen Annäherungsversuch Einsteins an eine bildlichen Intuition, in der nicht die zentripetale und als solche vertikal-vektorielle Gravitationsstruktur, sondern die eher horizontale Krümmung einer der Gravitation unterworfenen Trägheitsbewegungsstruktur zum Vorschein kommt. Wenn Einstein aus diesem Schritt seines Gedankenexperiments die gravitationelle Krümmung des Raumes in Allgemeinen ableitet, ist darin die Priorisierung einer bestimmten bildlichen Intuition kaum zu übersehen. Welche hintergründigen Einflüsse könnten hierbei eine Rolle

²⁴ Hoffmann, a.a.O., S. 129-131.

spielen, die Einstein zur Priorisierung dieser bildlich-intuitiven Prämisse, auf der er sein Äquivalenzprinzip und seine Relativitätstheorie aufbaute, veranlasst hatten? Wie Newton schien auch Einstein in diesem Fall durch die zu seiner Zeit vorherrschende Nicht-Euklidische Geometrie und elektromagnetischen Feldtheorien beeinflusst worden zu sein. Sowohl die Nicht-Euklidische Geometrie als auch die elektromagnetischen Feldtheorien (von Faraday, Maxwell u.a. aus dem 19. Jahrhundert) haben einen Wesenszug gemeinsam, nämlich die Krümmung des Raumes als Basis der geometrischen Formhaftigkeit und Gesetzmäßigkeit, sowie der mechanischen Phänomenalität (des elektromagnetischen Feldes).

Raum als Objekt philosophischer und naturwissenschaftlicher Untersuchungen ist historisch verschiedenen subjektiven Vorstellungen oder Perspektiven unterworfen. Die Geschichte der Raumvorstellungen und -theorien erweist sich als die Geschichte der intuitiven Vorstellungen von Raum, genauer gesagt, von der Ausgedehntheit des Raumes, die immer eine bildliche Intuition war. Die Dimensionierung des Raumes in der Antike – insbesondere bei Aristoteles – fand im strengen Rahmen der antiken synthetischen Geometrie statt und basierte als solche auf deren Grundzug, nämlich der Begrenztheit räumlicher Ausdehnung, dargestellt sowohl in der Ausdehnung der Körper als auch in der des Freiraumes. Demnach wurde der Raum in der Antike sich eher in *abzugrenzenden* Dimensionen vorgestellt:

„...so verschiedenartig die Raumtheorien der Antike auch gewesen sind, keine von ihnen dazu gelangt, den Raum als ein System von bloßen Relationen zwischen Höhe, Breite und Tiefe zu definieren, so daß (sub specie eines ‚Koordinatensystems‘) der Unterschied zwischen ‚vorn‘ und ‚hinten‘, ‚hier‘ und ‚dort‘, ‚Körper‘ und ‚Nichtkörper‘ sich in dem höheren und abstrakteren Begriff der dreidimensionalen Ausdehnung oder gar, wie Arnold Geulincx es ausdrückt, des ‚corpus generaliter sumptum‘ aufgelöst hätte. [...] stets bleibt das Ganze der Welt etwas von Grund aus Diskontinuierliches – sei es, daß Demokrit die Welt zunächst als eine rein körperliche aus kleinsten Teilen aufbaut, und dann (nur um denselben eine Bewegungsmöglichkeit zu sichern) das unendliche ‚Leere‘ als ein μή ὄν (wenn auch als Korrelat zum ὄν Erforderliches) hinzupostuliert – sei es, daß Plato der Welt der auf geometrisch gestaltete Körperformen zurückführbaren Elemente den Raum als deren gestaltlose, ja gestaltfeindliche υποδοχή gegenübertreten läßt – sei es endlich, daß Aristoteles dem Allgemeinraum (τόπος κοινός) mit einer im Grunde ganz unmathematischen Herübernahme des Qualitativen in das Gebiet des Quantitativen sechs Dimensionen (διαστάσεις διαστήματα) zuschreibt (oben und unten, vorn und hinten, rechts und links), während er den Einzelkörper durch drei Dimensionen (Höhe, Breite, Tiefe) ausreichend bestimmt sein läßt, und dabei diesen ‚Allgemeinraum‘ seinerseits nur als die letzte Grenze eines allergrößten Körpers, nämlich der äußersten Himmelsphäre, auffaßt – genau wie der spezifische Ort der Einzeldinge (τόπος ἴδιος) für ihn die Grenze des Einen gegen das Andere ist. Vielleicht drückt diese aristotelische Raumlehre mit besonderer Deutlichkeit die Tatsache aus, daß das antike Denken noch nicht vermochte, die konkret erlebbaren ‚Eigenschaften‘ des Raumes, und namentlich den Unterschied zwischen ‚Körper‘ und ‚Nichtkörper‘

auf den Generalnenner einer ‚substance étendue‘ zu bringen: die Körper gehen nicht auf in einem homogenen und unbegrenzten System von Größenrelationen, sondern sie sind die aneinandergefügteten Inhalte eines begrenzten Gefäßes. Denn wie es für Aristoteles kein ‚quantum continuum‘ gibt, in dem das Sosein der Einzeldinge sich auflösen würde, so gibt es für ihn auch kein ἐνεργείται ἄπειρον, das über das Dasein der Einzeldinge (denn modern gesprochen wäre ja auch die Fixsternsphäre nur ein ‚Einzelding‘) hinausgriffe.“²⁵

Hier beschreibt Panofsky die antike Vorstellung vom Aggregatraum, die in der antiken bildenden Kunst ihren adäquaten Ausdruck fand. Nach Panofsky lässt sich die antike bildende Kunst als eine *Körperkunst* betrachten.²⁶ In der Moderne – vor allem beim Aufkommen der Kartesischen analytischen Geometrie – ging die antike Vorstellung vom Aggregatraum in die eines Systemraumes über, der unendlich und homogen ist. In seiner Abhandlung „Perspektive als Symbolische Form“ versucht Panofsky das Aufkommen der modernen *mathematischen* Vorstellung des analytischen Systemraumes historisch vor der Entwicklung der Kartesischen Koordinatengeometrie bereits in der Entdeckung der Zentralperspektive in der Renaissance zu deuten. Zunächst unterscheidet Panofsky den unmittelbar visuell wahrzunehmenden Raum – als den psychophysiologischen Raum – von dem theoretisch-mathematischen Raum der Zentralperspektive. Das Konstrukt der Zentralperspektive – mit dem Fluchtpunkt und den darauf konvergierenden Orthogonalen – bildet im Prinzip eine kühne Abstraktion von der Wirklichkeit bzw. von den „tatsächlichen, subjektiven Seheindrücken“. Zur Verteidigung seiner These stützt sich Panofsky auf eine Betrachtung Cassirers bezüglich der Differenzierung zwischen dem Raum der unmittelbaren Wahrnehmung und dem *theoretischen* Konstrukt des geometrischen Raumes:

„Die Wahrnehmung kennt den Begriff des Unendlichen nicht; sie ist vielmehr von vornherein an bestimmte Grenzen der Wahrnehmungsfähigkeit und somit an ein bestimmt abgegrenztes Gebiet des Räumlichen gebunden. Und so wenig wie von einer Unendlichkeit des Wahrnehmungsraumes lässt sich von seiner Homogenität sprechen. Die Homogenität des geometrischen Raumes beruht letzten Endes darauf, daß alle seine Elemente, daß die ‚Punkte‘, die sich in ihm zusammenschließen, nichts als einfache Lagebestimmungen sind, die aber außerhalb dieser Relation, dieser ‚Lage‘, in welcher sie sich zueinander befinden, nicht noch einen eigenen selbständigen Inhalt besitzen. Ihr Sein geht in ihrem wechselseitigen Verhältnis auf: es ist ein rein funktionales, kein substantielles Sein. Weil diese Punkte im Grunde überhaupt von allem Inhalt leer, weil sie zu bloßen Ausdrücken ideeller Beziehungen geworden sind, darum kommt für sie auch keinerlei Verschiedenheit des Inhaltes in Frage. Ihre Homogenität besagt nichts anders als jene Gleichartigkeit ihrer Struktur, die in der

²⁵ Panofsky, Erwin: Die Perspektive als symbolische Form, Deutschsprachige Aufsätze, Bd. II (Studien aus dem Warburg-Haus; Bd. I), hrsg. von Karen Michels und Martin Warnke, Berlin 1998, S. 699-700.

²⁶ Ebd., S. 689. „Die klassische antike Kunst war eine reine Körperkunst gewesen, die nur das nicht bloß Sicht-, sondern auch Greifbare als künstlerische Wirklichkeit anerkannte, und die stofflich drei-dimensionale, funktional und proportionsmäßig fest bestimmte und dadurch stets irgendwie anthropomorphisierte Einzelelemente nicht malerisch zur Raumeinheit verband, sondern tektonisch oder plastisch zum Gruppengefüge zusammensetzte.“

Gemeinsamkeit ihrer logischen Aufgabe, ihrer ideellen Bestimmung und Bedeutung gegründet ist. Der homogene Raum ist daher niemals der gegebene, sondern der konstruktiv-erzeugte Raum – wie denn der geometrische Begriff der Homogenität geradezu durch das Postulat ausgedrückt werden kann, daß von jedem Raumpunkte aus nach allen Orten und nach allen Richtungen gleiche Konstruktionen vollzogen werden können. Im Raum der unmittelbaren Wahrnehmung ist dieses Postulat nirgends erfüllbar. Hier gibt es keine strenge Gleichartigkeit der Orte und Richtungen, sondern jeder Ort hat seine Eigenart und seinen eigenen Wert. Der Gesichtsraum wie der Tastraum kommen darin überein, daß sie im Gegensatz zum metrischen Raum der Euklidischen Geometrie ‚anisotrop‘ und ‚inhomogen‘ sind: die Hauptrichtungen der Organisation: vorn-hinten, oben-unten, rechts-links sind in beiden physiologischen Räumen übereinstimmend ungleichwertig.“²⁷

Panofsky vertrat die Ansicht, dass unserem unmittelbaren Wahrnehmungsraum eine *perspectiva naturalis*, also eine psychophysiologisch entstandene Perspektivität zugrunde liegt, wogegen das Konstrukt der (exakten) Zentralperspektive als *perspectiva artificialis* eine geometrisch-mathematische Abstraktion aus der Struktur des psychophysiologischen Raumes ist.²⁸ Die Differenzierung zwischen *perspectiva naturalis* und *perspectiva artificialis* scheint problematisch zu sein, denn unser unmittelbarer Sehraum, der auf der geometrisch-optischen Struktur des Lichtraumes aufbaut, ist bereits geometrisch-perspektivisch strukturiert und *erscheint* uns als solcher. Allerdings würde eine weitere Erörterung dieser Problematik den Rahmen dieser Abhandlung sprengen. Es ist hier wichtig zu bemerken, dass es einen wesentlichen Unterschied oder sogar eine Unstimmigkeit zwischen der Gegebenheit oder *gegebenen Wirklichkeit* und der Vorstellung des Raumes geben kann, was letztendlich die Historizität der Raumvorstellung hervorbringt. Gegenüber der Gegebenheit des Wahrnehmungsraumes (a posteriori) entsteht die subjektiv-geometrische Raumvorstellung nur apriorisch. D. h. jede *historische* Entwicklung der geometrischen Raumvorstellung ergibt sich aus der subjektiven Apriorisierung des gegebenen *visuellen* Wahrnehmungsraumes. Die geometrische Apriorisierung des Raumes, die sich als historisch erweist, ereignet sich allerdings unweigerlich im Modus bildlicher Intuitionen; dies tritt in dem oben erörterten Übergang der antiken-synthetischen Vorstellung vom *Aggregatraum* in die moderne Kartesisch-analytische Vorstellung vom Systemraum deutlich zutage. Die Dimensionierung eines abstrakt-theoretischen bzw. homogenen, stetigen und unendlichen Raumes in Raumkoordinaten ist im Grunde eine bildliche Vorstellung a priori, die, vom Subjekt erzeugt,

²⁷ Ebd., S. 666-668.

²⁸ Ebd., S. 668-669.

„Von dieser Struktur des psychophysiologischen Raumes abstrahiert die exaktperspektivische Konstruktion grundsätzlich: es ist nicht nur ihr Ergebnis, sondern geradezu ihre Bestimmung, jene Homogenität und Unendlichkeit, von der das unmittelbare Erlebnis des Raumes nichts weiß, in der Darstellung desselben zu verwirklichen – den psychophysiologischen Raum gleichsam in den mathematischen umzuwandeln.“

auf die Wirklichkeit des Raumes projiziert wird. Die Wesenszüge des Newtonschen absoluten Raumes, wie Unbegrenztheit, Unbewegtheit und Homogenität basierten offensichtlich auf der Entwicklung der Kartesisch-analytischen Raumvorstellung – auf dem von Panofsky erörterten historischen Übergang des antiken Aggregatraumes in den modernen Systemraum.

Sowohl die für wirklich gehaltene Vorstellung Newtons vom absoluten Raum als auch das apriorisch-geometrische Konstrukt des Kartesisch-analytischen Raumes entstanden im historischen Rahmen der Euklidischen Geometrie. Dies besagt, dass der Übergang der antiken synthetischen Raumvorstellung in den modernen, Kartesisch-analytischen Systemraum den historisch tradierten Rahmen der Euklidischen Geometrie kaum sprengt. Denn die modalen Differenzen zwischen diesen beiden Raumvorstellungen schließen die ontologische Einheit der Euklidischen Raumvorstellung, die auch beiden Intuitionen des Raumes zugrunde liegt, nicht aus. Allerdings entstand die post-Newtonsche, nicht-Euklidische Raumvorstellung im 19. Jahrhundert, dargestellt in erster Linie in den nicht-Euklidischen Geometrien von Gauß. Riemann, Minkowski u. a., aus einem historischen Abbau dieser ontologischen Einheit des Euklidischen Raumes.

Der Grundzug der nicht-Euklidischen Geometrien, die im 19. Jahrhundert entstanden, war die Krümmung des *hintergründigen* Raumes – in Kontrast zum Euklidischen Raum, der einer derartigen Qualität nicht unterworfen war. Auf gekrümmten Raumebenen widersprechen sich die geometrischen Grundformen und -strukturen der tradierten Axiomatizität der Euklidischen Geometrie; die Summe der Winkel von Dreiecken ist im Rahmen der nicht-Euklidischen Geometrie keine Konstante bzw. beträgt nicht 180° , und die Parallelen kreuzen sich. Solche Erweiterungen, die im Kontext der Euklidischen Geometrie unmöglich wären, wurden in der nicht-Euklidischen Geometrie legitimiert und axiomatisiert. Der Grundzug der räumlichen Krümmung in der nicht-Euklidischen Geometrie schien ein adäquates *phänomenales* Korrelat bei den elektromagnetischen Feldtheorien zu finden; die nicht-Euklidische Geometrie und die sich an sie anpassenden methodischen Erweiterungen der Infinitesimalrechnung wurden zum Instrumentarium der Mathematisierung der gekrümmten elektromagnetischen Felder. Schließlich entwickelte Einstein seine Relativitätstheorie aus dem Äquivalenzprinzip und seiner Grundvorstellung von der gravitationellen Krümmung des Raumes, zu dessen Mathematisierung er sich auf die Theorie des *metrischen Tensors* gestützt hatte, die erst neulich von Marcel Grossmann entwickelt wurde.

Allem Anschein nach etablierte sich die Vorstellung von der Krümmung des Raumes historisch fast als Paradigma, das die Mathematik – insbesondere die mathematischen Wissenschaften – maßgeblich prägte. Diese hintergründige Vorstellung war offensichtlich eine bildliche Intuition, die bei ihrer *Anwendung* auf die Kosmologie ein neues Weltbild hervorbrachte. Die Wirkung dieses bildlichen Paradigmas schien sich um die Jahrhundertwende (19. – 20. Jahrhundert) über die Domäne der Geometrie und Mechanik hinaus auch auf andere Bereiche zu erstrecken. In seiner Kritik an Panofskys Vorstellung von der *Kurvilinear Perspektive* und seiner Differenzierung zwischen der *perspectiva naturalis* und der *perspectiva artificialis* führt Hubert Damisch die Entwicklung und Etablierung dieses Paradigmas zur Jahrhundertwende eher auf den Zeitgeist (der laut Damisch einen entscheidenden Einfluss auf Panofsky ausübte) zurück:

”It is only too true that the author of ‘Perspective as Symbolic Form’ blurred the distinction between vision and the optical process leading to the formation of an image on the internal, concave surface of the retina; just as it is clear that it was this confusion that led him to accord *costruzione legittima* only a relative validity. If the image provided us by the painter must be referred to the image inscribed at the back of the eye, then linear perspective, based as it is on planar projection, should be regarded as erroneous or arbitrary. But no one formulated the problem in terms of this absurd requirement before the end of the nineteenth century, a period that saw the advent of psychophysiology and the success, dubious at best, of non-Euclidian geometries, whose nefarious impact - at second or third hand - on literature and art, notably on the epigones of cubism, cannot be exaggerated. Fortunately criticism has since renounced such nonsense, aside from a few *faux naïfs* who ceaselessly repeat incantatory phrases incorporating ‘space-time’ and ‘geometry to the *n*th dimension.’ One can only regret that even so prodigious an intelligence as Panofsky’s could be sufficiently misled by it to devote extended preliminary remarks to so-called curvilinear perspective. If he was guilty of naiveté, then so was an entire era - to repeat a criticism formulated by Husserl - by contemporary psychology’s claim to be the fundamental abstract discipline of the intellectual sciences.“²⁹

Die Art der axiomatischen Vorstellungen in der Wissenschaft wird hauptsächlich durch die Natur der Wissenschaftsgegenstände bzw. ihre Existenzweise und Erkennbarkeit mitbestimmt. Die Gegenstände der mathematischen Wissenschaften, wie der Mechanik und der Optik, bedürfen über ihre bloße Gegebenheit hinaus jener visuell- bzw. bildlich-strukturellen Intuition, die ihre Axiomatizität bzw. axiomatische Finalität gewährleistet. Die latenten Kräfte der statischen und dynamischen Phänomene, wie die Fernwirkung des Magnetismus und der Gravitation, die Trägheit des Körpers – dargestellt im statischen Trägheitsruhezustand und im dynamischen Trägheitsbewegungszustand –, die optischen und

²⁹ Damisch, Hubert: *The Origin of Perspective*, übersetzt von John Goodman, Massachusetts 2000, S. 5-6.

dioptrischen Qualitäten des Lichtes usw. konstruieren primär die Gegenstände bildlich-struktureller Intuitionen. Auch bei den materiellen Wissenschaften und vor allem bei ihren Übergangsverbindungen zu den mathematischen führen die bildlich-strukturellen Intuitionen zu axiomatischen Grundvorstellungen. Bei der Erkennbarkeit der materiell-mechanischen Eigenschaften wie der Elastizität, Dichte oder Viskosität, der molekularen, atomaren und subatomaren Strukturen usw. ist das Faktum der bildlichen Intuition kaum auszuschließen.

Die Vorstellbarkeit von wissenschaftlichen Gegenständen ist auf wissenschaftliche Rahmenbedingungen angewiesen. Während die irdische Mechanik (Terrestrial Mechanics) sich zum großen Teil auf die unmittelbare Erfahrbarkeit ihrer Gegenstände, dargestellt in verschiedenen statischen und dynamischen Phänomena, stützt, werden die Wissenschaftsgegenstände im Rahmen der Himmelsmechanik sich eher intuitiv vorgestellt, indem sie methodisch von ihrer analogen und erfahrungsmäßigen Wahrnehmung auf der Erde – bzw. innerhalb der irdischen Mechanik – auf die kosmologischen Phänomena extrapoliert werden. Zwei wichtige Gegenstände der Mechanik, die einer derartigen axiomatischen Extrapolation unterworfen werden, sind Raum und Gravitation. Die intuitiv-axiomatischen Vorstellungen von Raum und Gravitation auf der himmelsmechanischen Ebene bestimmen immer wieder unser *Weltbild*, das besonders die Wissenschaft der Mechanik beherrscht und ihre Historizität mitbestimmt. Als das hintergründige Faktum ist der Raum, bzw. seine fundamentale Intuition, der geschichtlichen Entwicklung der Geometrie untergeordnet. Und als *räumlich* fernwirkende Kraft benötigt man für die Gravitation *primär* eine räumliche Vorstellung, also eine bildliche Intuition von ihrer räumlichen Ausdehnung. Wenn manche Wesenszüge dem Raum – als geometrischem Gegenstand – zugeschrieben werden, wirkt dies sofort auf die bildliche Vorstellung der Gravitation, die im Grunde ein mechanisches Phänomen ist. Die Unendlichkeit der gravitationellen Ausdehnung, die Newton im paradigmatischen Rahmen der Universalgravitation vorstellte, wurde bei Einstein innerhalb seiner – ebenso paradigmatischen – Vorstellung von der gravitationellen Raumkrümmung uminterpretiert. In seiner Berliner Vorlesung *Geometrie und Erfahrung* unternahm Einstein den Versuch, die tradierte (Newtonsche) Vorstellung von der Unendlichkeit des Raumes im Rahmen der *zeitgemäßen* nicht-Euklidischen Geometrie umzudeuten:

„Eine geometrisch-physikalische Theorie ist als solche zunächst notwendig unanschaulich, ein bloßes System von Begriffen. Aber diese Begriffe dienen dazu, eine Vielheit von wirklichen und gedachten sinnlichen Erlebnissen in gedanklichen Zusammenhang zu bringen. Eine Theorie „veranschaulichen“ heißt also jene Fülle von Erlebnissen zur Vorstellung zu bringen, deren schematische Ordnung durch die Theorie geleistet wird. In

unserem Falle haben wir uns zu fragen: Wie läßt sich dasjenige Verhalten fester Körper in bezug auf ihre gegenseitige Lagerung (Berührung) vorstellen, das der Theorie von der Endlichkeit der Welt entspricht? [...]

Was wollen wir ausdrücken, wenn wir sagen, unser Raum sei unendlich? Nichts anders, als daß wir beliebig viele gleich große Körper aneinander legen könnten, ohne daß er jemals voll würde. Denken wir uns viele gleich große würfelförmige Kisten hergestellt, so können wir sie nach der euklidischen Geometrie so übereinander, nebeneinander und hintereinander legen, daß ein beliebig großer Raumteil erfüllt wird; aber diese Konstruktion würde nie zu Ende sein; immer neue Würfel ließen sich außen anlegen, ohne daß je Platzmangel einträte. Dies wollen wir ausdrücken, wenn wir sagen, der Raum sei unendlich in bezug auf praktisch-starre Körper, vorausgesetzt, daß die Lagerungsgesetze für die letzteren durch die euklidische Geometrie gegeben sind.

Ein anderes Beispiel eines unendlichen Kontinuums ist die Ebene. Auf einer Ebene können wir quadratische Plättchen aus Karton so nebeneinander anlegen, daß jeweilen an alle vier Seiten eines Kartonquadrats je eine Seite eines Kartonquadrats anliegt. Die Konstruktion wird nie fertig; immer neue Kartonquadrate lassen sich anlegen – falls deren Lagerungsgesetze denen ebener Figuren der euklidischen Geometrie entsprechen. Die Ebene ist also in bezug auf die Kartonenquadrate unendlich. Man sagt demgemäß, die Ebene sei ein unendliches Kontinuum von zwei Dimensionen, der Raum ein solches von drei Dimensionen; was hier unter Dimensionszahl verstanden wird, darf ich wohl als bekannt voraussetzen.

Nun geben wir ein Beispiel eines zweidimensionalen Kontinuums, das endlich, aber ohne Grenzen ist. Wir denken uns die Oberfläche eines großen Globus und eine Menge gleicher kreisrunder kleiner Papierscheibchen. Wir legen ein solches Scheibchen irgendwo an die Globusoberfläche an. Verschieben wir es mit dem Finger beliebig auf der Globusfläche, so stoßen wir bei dieser Reise nirgends an eine Grenze. Wir sagen deshalb, die Kugelfläche des Globus sei ein unbegrenztes Kontinuum. Die Kugelfläche ist ferner ein endliches Kontinuum. Klebt man nämlich solche Papierscheibchen auf den Globus auf, derart, daß niemals zwei Scheibchen aufeinander geklebt werden, so wird die Globusoberfläche endlich so voll, daß kein neues Scheibchen mehr darauf geht; dies bedeutet eben, daß die Kugelfläche des Globus in bezug auf die Papierscheibchen endlich sei. Die Kugelfläche ist ferner ein nichteuklidisches Kontinuum von zwei Dimensionen, d. h. die Lagerungsgesetze für in ihr liegende starre Gebilde stimmen nicht mit denen der Euklidischen Ebene überein.“³⁰

Das lange tradierte Euklidisch-geometrische Raumkontinuum wird hier im Rahmen der nicht-Euklidischen Geometrie umgedeutet. Dies erweist sich als ein treffendes Beispiel für die bildliche Paradigmatisierung wissenschaftlicher Grundlagen. Das *hintergründige* bildliche Paradigma in dieser Einsteinschen Umdeutung des Raumkontinuums ist deutlich die vorher erörterte Krümmung des Raumes. Das Quale *Krümmung* lässt sich am ehesten auf einer zweidimensionalen Ebene – und nicht in der (Euklidisch-geometrischen) dreidimensionalen Raumausdehnung – darstellen.³¹ Wenn wir dem Gedankengang Einsteins folgen, sehen wir, wie Einstein *strategisch* und Schritt für Schritt die *bildlichen Prämissen* wählte bzw.

³⁰ Einstein, Albert: Geometrie und Erfahrung, Verlag von Julius Springer, Berlin 1921, S. 14-16.

³¹ Krümmung des dreidimensionalen Raumes entzieht sich unserer Vorstellungskraft. Auch wenn wir uns einen gekrümmten dreidimensionalen Raumschnitt vorstellen können, scheint dies in der Form zusammengelegter gekrümmter Ebenen zu sein. Denn Krümmung ist eine periphere oder oberflächliche Qualität.

bevorzugte, damit er die abgezielte Demonstration des unendlichen Raumkontinuums auf einer endlichen, nicht-Euklidischen bzw. sphärischen Ebene erlangen konnte. Zunächst verließ Einstein die *hintergründige dreidimensionale* Ausdehnung des Euklidisch-geometrischen Raumes und bevorzugte demgegenüber die zweidimensionale Ausdehnung einer Ebene („Ein anderes Beispiel eines unendlichen Kontinuums ist die Ebene“). Denn der Sprung von einer (Euklidisch-geometrischen) planen Ebene zu einer nicht-Euklidisch-geometrischen gekrümmten Ebene – wie der Oberfläche eines Globus – ist leichter und in seinem *konstruktiven Übergang* besser nachvollziehbar. Daraus entwickelt sich ein wesentlich anderes Bild des unendlichen Raumkontinuums, dargestellt in dem unendlichen Verschieben des Papierscheibchens auf der sphärischen Ebene, was der Euklidisch-geometrischen Vorstellung vom unendlichen Kontinuum einer planen Ebene vollkommen fremd ist. Eine derartige Bevorzugung bildlicher Prämissen scheint eher paradigmatisch als epistemisch zu sein. In dieser Weise wirkte der qualitative Grundzug der nicht-Euklidischen Geometrie, nämlich die Krümmung der Raumebene, bei der Einsteinschen Umdeutung des Raumkontinuums im Modus eines hintergründigen bildlichen Paradigmas, das seine Himmelsmechanik, dargestellt vor allem in seiner Relativitätstheorie, und sein Weltbild, das diese historisch etablierte, maßgeblich prägte.

Eine derartige strategische Bevorzugung bildlicher Prämissen, die sich stillschweigend an einen historisch etablierten wissenschaftlichen Rahmen (hier die nicht-Euklidische Geometrie) anzupassen versucht, initiiert bei den axiomatisch-wissenschaftlichen Intuitionen die wissenschaftliche Paradigmatisierung in bildlichen Zügen und treibt sie historisch voran. Viele andere und zeitgemäße wissenschaftlich-axiomatische Intuitionen werden ihr tendenziell subsumiert. Das Weltbild, das sich daraus ergibt, beherrscht eine Epoche und bestimmt die Natur der wissenschaftlichen Fortschritte und ihre historische Legitimität – bis die Zeit reif wird und manche der wesentlichen Ungereimtheiten zwischen dem gängigen Weltbild und der *Wirklichkeit* als Anomalien immer wieder zum Vorschein zu kommen beginnen.

Bibliographie

Aiton, E. J.: The Elliptical Orbit and the Area Law, aus: *Kepler. Four Hundred Years*, hrsg. von Arthur Beer, Oxford 1975.

Brownlie, Alexander: The Science of the Tides. A Study in Physical Geography, Journal of the American Geographical Society of New York, Vol. 32, No. 5 (1900).

Brackenridge, Bruce J.: The Key to Newton's Dynamics, University of California Press, Berkeley 1995.

Chandrasekhar, S: Newton's Principia for the Common Reader, Oxford University Press, New York 1995.

Cohen, Bernard: Kepler's century: Prelude to Newton's, aus: *Kepler. Four Hundred Years*, hrsg. von Arthur Beer, Oxford 1975.

Damisch, Hubert: The Origin of Perspective, übersetzt von John Goodman, Massachusetts 2000.

Darwin, George Howard Sir: The Tides, Lectures delivered in 1897 at the Lowell Institute, Boston, Massachusetts, The Riverside Press, Cambridge MA 1899.

Einstein, Albert: Geometrie und Erfahrung, Verlag von Julius Springer, Berlin 1921.

Gal, Ofer: Meanest Foundations and Nobler Superstructures. Hooke, Newton and the "Compounding of the Celestial Motions of the Planets", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2002.

Gandt, François de: Force and Geometry in Newton's *Principia*, Princeton University Press, New Jersey 1995.

Hoffmann, Banesh: Albert Einstein. Schöpfer und Rebell, Zürich 1976.

Koyré, Alexander: The Astronomical Revolution. Copernicus – Kepler – Borelli, übersetzt von Dr. R. E. W. Maddison F. S. A., Paris 1973.

Kuhn, Thomas: The Copernican Revolution, Harvard University Press, Cambridge 1957.

Lohne, Johannes: Hooke *versus* Newton, veröffentlicht in Centaurus (vol. 7), Kopenhagen 1960.

Newton, Isaac: The Principia, übersetzt von I. Bernard Cohen und Anne Whitman, University of California Press, Berkeley 1999.

Ohly, Sibylle: Johann Bernoullis Mechanische Arbeiten 1690 bis 1713, Augsburg 2004.

Panofsky, Erwin: Die Perspektive als symbolische Form, Deutschsprachige Aufsätze, Bd. II (Studien aus dem Warburg-Haus; Bd. I), hrsg. von Karen Michels und Martin Warnke, Berlin 1998.

Thaliath, Babu: Nature of Gravitation. The Structural Intuition of Gravitation in the Framework of Early Modern Mechanical Philosophy. Philosophy Study, September 2012, Vol. 2, No. 9 (595-618).

Thaliath, Babu: Natur und Struktur der Kräfte, Verlag Königshausen & Neumann, Würzburg 2010.

Westfall, Richard S.: Hooke and the Law of Universal Gravitation, The British Journal for the History of Science, Band Vol. 3, Cambridge 1967.

Westfall, Richard S.: The Construction of Modern Science, New York 1971.